

Opinnäytetyö (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Autotekniikka

2011

Jaakko Räihä

DOWNSIZING KEINONA LISÄTÄ AJONEUVOMOOTTOREIDEN TALOUDELLISUUTTA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

Turun ammattikorkeakoulu

Auto- ja kuljetustekniikka | Autotekniikka

Kevät 2011 | Sivumäärä 45

Ohjaaja: Markku Ikonen

Jaakko Räihä

DOWNSIZING KEINONA LISÄTÄ AJONEUVOMOOTTOREIDEN TALOUELLISUUTTA

Ilmastonmuutos ja raakaöljyvarojen ehtyminen asettavat uusia vaatimuksia autoteollisuudelle. Haitallisten kasvihuonekaasujen, erityisesti hiilidioksidin vähentäminen pakottaa valmistajat kehittämään uusia ratkaisuja polttoaineenkulutuksen pienentämiseksi.

Työn tavoitteena oli tutkia downsizing-ilmiötä, sen mahdollisuuksia sekä rajoitteita. Työssä selvitettiin ajamiselle asetettuja vaatimuksia sekä tutustuttiin eri valmistajien kehittämiin ratkaisuihin.

Downsizingia käytetään ajoneuvoteollisuudessa moottoreiden polttoaineenkulutuksen vähentämiseksi. Se on menetelmä, jolla pienennetään moottorin iskutilavuutta tinkimättä auton suorituskyvystä.

Työn alussa selvitetään downsizing-ilmiöön johtaneita tekijöitä sekä ajamiselle asetettuja vaatimuksia. Laskemalla tutkitaan auton ajovastusvoimia ja niiden voittamiseksi tarvittavia tehoja. Diesel-moottoreiden osalta keskitytään siihen, miksi downsizing on niissä ottomoottoreita haasteellisempaa. Työn lopussa esitellään Fiatin ja Volkswagenin kehittämiä uudentyyppisiä moottoriratkaisuja.

Työn tuloksena selvisi, että tämän hetkiset autot ovat ylimitoitettuja kokonsa ja suorituskykynsä puolesta. Mahdollisuuksia polttoaineenkulutuksen vähentämiseksi on. Downsizing antaa lisää aikaa uusien vaihtoehtoisten polttoaineiden kehittämiseksi.

ASIASANAT:

auto, autoteollisuus, downsizing, polttoaineenkulutus, ajovastukset, moottori, suunnittelu, taloudellisuus, päästöt, hiilidioksidi, ilmastonmuutos

Jaakko Räihä

MAKING MORE ECONOMICAL CAR ENGINES VIA DOWNSIZING

The major factors that have lead car manufacturers to develop downsizing technologies are global warming and limited oil resources.

Downsizing is a principle, which is used in automotive industry in order to make more economical engines. Characteristic for downsizing is to make smaller displacement engines without power losses.

In this thesis, those factors are explored more closely. Also, some requirements of driving are listed and some calculations of driving resistance and power that is needed to overcome the different resistances have been performed. Some reasons have been examined why diesel-engines are more difficult to downsize utilizing the same methods as for downsizing gasoline engines. Also, some examples of downsized engines, created by Fiat and Volkswagen, are presented.

As a conclusion, it can be stated that cars that are used today are far too powerful and large. There is much potential for downsizing in car industry. The principle of downsizing also gives the vehicle manufacturers more time to develop alternative fuels and power sources.

KEYWORDS:

car, automotive industry, global warming, carbon dioxide, downsizing, engine, driving resistance, new technologies

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 ILMASTON LÄMPENEMINEN	8
3 POLTTOAINEENKULUTUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	10
4 AJOVASTUKSET JA AUTON AJOTILA	12
4.1 Ajotilapiirroksen laskenta Toyota Corolla 1,4 VVT-i vuosimalli 2007	13
4.1.1 Lähtötiedot	14
4.1.2 Laskentaperiaatteet	15
4.2 Vastusvoimat ja niiden voittamiseksi tarvittava teho	17
4.3 Ajotilapiirros ja todellinen tehontarve	22
4.4 Välityssuhteiden ja tehon laskun vaikutus taloudellisuuteen	25
4.5 Tottumus ylitehokkaisiin autoihin	27
5 DOWNSIZING DIESELMOOTTOREISSA	28
5.1 Uusia dieselmoottoareiden teknisiä ratkaisuja	28
5.2 Downsizingin mahdollisuudet dieselmoottoareissa	29
5.3 Downsizingin ongelmat dieselmoottoareissa	30
6 FIAT TWINAIR KAKSISYLINTERINEN MOOTTORI	32
6.1 Moottorin suunnittelusta	33
6.2 Uuden moottorin etuja	34
6.3 Fiat 500 ja TwinAir	34
7 VW GOLF FSI- JA TSI-MOOTTOREIDEN VERTAILUA	36
7.1 Volkswagen Golf V 1.6 FSI	36
7.2 Volkswagen Golf V 1.4 TSI	37
7.3 Volkswagen Golf VI 1.4 TSI	39
7.4 Volkswagen Golf VI 1.2 TSI	40
8 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	44

LIITTEET

Liite 1. Ajotilapiirroksen laskentataulukot

KUVAT

Kuva 1. Poikkipinta-alan laskenta.	17
Kuva 2. Fiat TwinAir 900 cc.	32

KUVIOT

Kuvio 1. Hiilidioksidipitoisuuden kasvaminen (Ilmatieteenlaitos 2011c).	9
Kuvio 2. Lämpötilojen muutokset maapallolla (Ilmatieteenlaitos 2011c).	10
Kuvio 3. Corolla 1.4 2007 Teho- ja vääntömomenttikäyrästä (Sukava 2007, 175).	15
Kuvio 4. Ajovastusvoimat Corolla 1.4 2007.	18
Kuvio 5. Ajovastustehot Corolla 1.4 2007.	20
Kuvio 6. Ajotilapiirros Corolla 1.4 2007.	23
Kuvio 7. Volkswagen Golf 1.4 TSI 125 kW ominaiskulutuskäyrästä (Krebs ym. 2005b, 984).	26
Kuvio 8. Iskutilavuuden muutoksen vaikutus kulutukseen (Schommers ym. 2011, 14).	31
Kuvio 9. Fiat 500 TwinAir hiilidioksidipäästö (Mastrangelo ym. 2011, 10)	35
Kuvio 10. Volkswagen Golf 1,4 125 kW TSI-moottorin ahtimien toiminta-alue (Krebs ym. 2005b, 980).	38

KÄYTETYT LYHENTEET

α	kulma alfa, mäen nousukulma (tien pitkittäisgradientti) [°]
η_{vs}	voimansiirron hyötysuhde
ρ_i	ilman tiheys [kg/m ³]
ω	moottorin kulmanopeus [rad/s]
π	pii
a_k	keskimääräinen kiihtyvyys [m/s ²]
A	poikkipinta-ala [m ²]
C_D	ilmanvastuskerroin
F_{ilma}	ilmanvastusvoima [N]
F_k	käyttövoima pyörällä [N]
F_{nousu}	nousuvastusvoima [N]
F_{teor}	teoreettinen vetovoima [N]
F_{vier}	vierintävastusvoima [N]
G	ajoneuvon paino [N]
i_{kok}	kokonaisvälityssuhde
m	ajoneuvon massa [kg]
M_v	moottorin vääntömomentti [Nm]
n_m	moottorin pyörintänopeus [1/min]
P	moottorin teho [W]
r_{dyn}	renkaan dynaaminen vierinsäde [m]
s_{dyn}	renkaan dynaaminen vierinmatka [m]
v	ajoneuvon nopeus [m/s]

1 JOHDANTO

Työn tavoitteena oli tutkia downsizing-ilmiötä, sen mahdollisuuksia sekä rajoitteita. Työssä selvitettiin ajamiselle asetettuja vaatimuksia sekä tutustuttiin eri valmistajien kehittämiin ratkaisuihin.

Termi downsizing on hiljalleen vakiintunut autoteollisuudessa. Suora käännös englannin kielen verbille downsize on karsia tai muuttaa jotakin pienemmäksi. Tästä ilmiössä suurin piirtein onkin kyse. Downsizingilla tarkoitetaan ajoneuvon moottorin iskuutilavuuden pienentämistä kulutuksen vähentämiseksi pitämällä moottorin teho mahdollisuuksien mukaan ennallaan. Tämä vielä varsin tuore suuntaus tuo mukanaan runsaasti sekä uusia mahdollisuuksia että haasteita.

Downsizing-ilmiön voimistumiseen liittyy monia tekijöitä. Näistä tärkein on maapallon ilmaston lämpeneminen, johon jatkuvasti kasvavalla autokannalla on osaltaan suuri vaikutus. Mitä enemmän fossiilista hiiltä poltetaan, sitä enemmän ilmakehän hiilidioksidipitoisuus kasvaa. Tämä taas voimistaa ilmastonlämpenemistä. Köyhien maiden teollistuminen ja siten ihmisten elintason kasvu on tuonut mahdollisuuden omaan autoon miljoonille ihmisille. Jo pelkästään Kiinassa henkilöautojen myynti oli vuosien 2003-2007 aikana kasvanut nelinkertaiseksi (Jalovaara 2007, 114).

Toinen merkittävä asia on raakaöljyn rajallinen saatavuus. Autoalan koulutuskeskuksen järjestämässä luentotilaisuudessa Helsingissä 5.10.2010 puhuttiin vaatimuksista, joita tullaan asettamaan ajoneuvojen voimалаite-tekniikalle. VTT:n erikoistutkija TkT Juhani Laurikko mainitsi luennossaan raakaöljyvaroista, että hän muistaa aina tutkijoiden kertoneen öljyn riittävän viideksikymmeneksi vuodeksi tutkimuksen tekohetkestä. Hän sanoi kuitenkin sen, että raakaöljyvarat eivät ole ehtymättömät, vaikka niiden tarkkaa kestoaa on hyvin vaikea ennustaa.

Ennustettavuutta vaikeuttaa epävarmuus kulutuksen kasvunopeudesta sekä se, että poraustekniikoiden kehittyessä entistä vaikeampien öljyesiintymien

hyödyntäminen tulevaisuudessa on mahdollista. Energiayhtiö BP:n mukaan nykyisellä tuotantoasteella riittää öljyä vielä 42:ksi vuodeksi eikä fossiilisia polttoaineita tulla syrjäyttämään vielä pitkään aikaan (Tekniikka & Talous 2009).

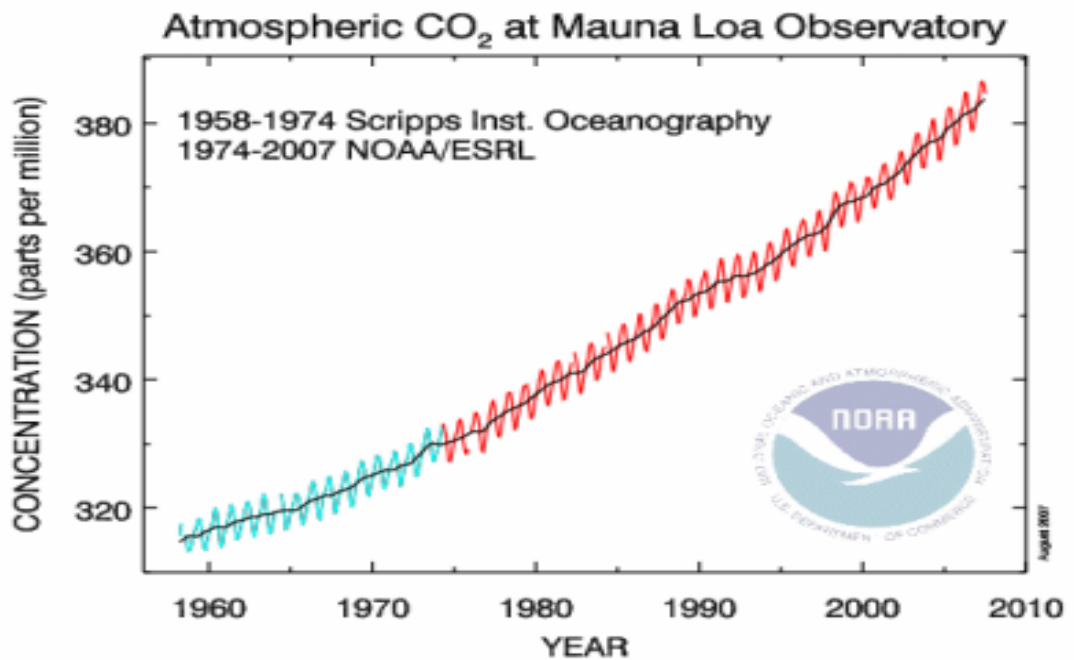
2 ILMASTON LÄMPENEMINEN

Maapallolla oleva ilmakehä toimii kuin suuri kasvihuone. Se päästää lävitseen auringon säteilyä, mutta samalla estää sitä karkaamasta takaisin avaruuteen. Tästä johtuu maapallon lämpötila. Jos kasvihuoneilmiötä ei olisi, maapallon pintalämpötila olisi keskimäärin noin -18°C ja elämä maapallolla olisi mahdotonta. Kasvihuonekaasut nostavat Maan keskilämpötilan noin $+14^{\circ}\text{C}$:seen. (Ilmatieteenlaitos 2011a.)

Kasvihuonekaasut, jotka esiintyvät luonnostaan ilmakehässä ovat vesihöyry, hiilidioksidi, metaani, typpioksiduuli sekä otsoni. Näistä typpi ja happi, joita esiintyy eniten, eivät aiheuta kasvihuoneilmiötä. Kasvihuonekaasut pystyvät molekyyliarakenteensa avulla imemään lämpösäteilyä tietyillä aallonpituuksilla. Molekyyli muuttaa saamansa energian takaisin säteilyksi, jolloin se edesauttaa lämpötilan kasvua maan pinnalla. (Ilmatieteenlaitos 2011b.)

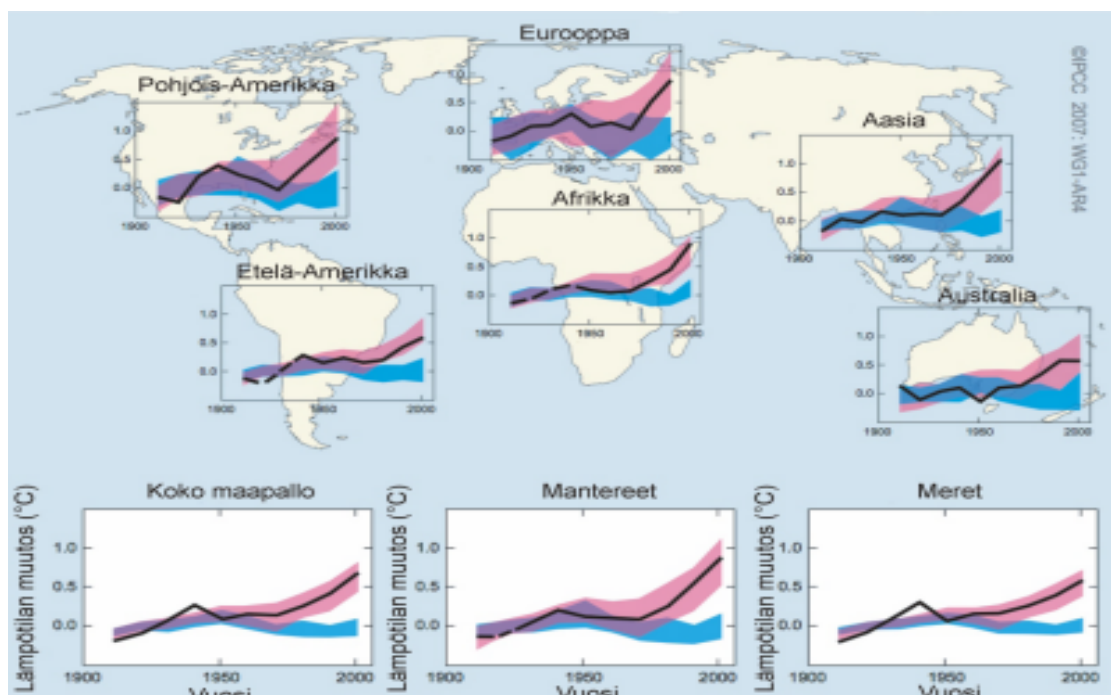
Ihmiskunta kasvattaa kasvihuonekaasujen määrää. Tärkein kasvihuonekaasu ilmastomuutoksen kannalta on hiilidioksidi CO_2 . Sen elinaika ilmakehässä on pitkä, jolloin kaasu ehtii sekoittua ilmakehään tasaisesti. (Ilmatieteenlaitos 2011c.)

Mauna Loa havaintoasema Havaijilla on mitannut ilmakehän hiilidioksidipitoisuuksia jo 50-luvulta saakka. Mittaukset osoittavat selvästi pitoisuuden kasvaneen jatkuvasti. Kuvaajan sahalaitaisuus johtuu pohjoisen kesäajoista, jolloin myös niiden aluiden kasvit osallistuvat yhteyttämiseen. (Kuvio 1.) Pitoisuuden kasvamiselle ei ole muuta selitystä, kuin että ihminen on sen saanut aikaan fossiilista hiiltä ja hiilipitoisia polttoaineita polttamalla. Ihmismäärien lisääntyminen sekä elintason nousu kuormittavat ilmakehää joka vuosi enemmän. (Ilmatieteenlaitos 2011c.)



Kuvio 1. Hiilidioksidipitoisuuden kasvaminen (Ilmatieteenlaitos 2011c).

Kuviossa 2 on esitetty lämpötilojen muutoksia eri mantereilla. Sininen alue kuvaa sitä tilannetta, jossa on huomioitu normaalista lämpötilan vaihtelusta johtuva muutos. Punaisessa alueessa on lisäksi huomioitu ihmisen vaikutus. Kuvaajat kuitenkin kertovat sen, että keskilämpötilat ovat nousseet joka puolella. Mittauksia tukevat havainnot muun muassa napa-alueiden jäätiköiden sulamisesta sekä merien pinnan nousemisesta. (Ilmatieteenlaitos 2011c.)



Kuvio 2. Lämpötilojen muutokset maapallolla (Ilmatieteenlaitos 2011c).

Autokannan jatkuva kasvu sekä autojen päästöt edittävät merkittävästi ilmastonmuutosta. Biomassapohjaisen polttoaineen ei katsota lisäävän ilmakehän CO₂-kuormaa, sillä sama määrä hiilidioksidia vapautuisi kasvin kuollessa ja mädäntyessä kuin poltettaessa kasvista tehtyä polttoainetta. Vielä nykyään kuitenkin valtaosa autokannasta käyttää fossiilista polttoainetta, mikä lisää hiilidioksidin määrää ilmakehässä. Palamisessa syntyneen hiilidioksidin määrään vaikuttaa suoraan se, paljonko hiiltä, eli polttoainetta palaa. Pienipäästöisen auton täytyy olla siis pienikulutuksinen. (Ikonen 2007, 21-22.)

3 POLTTOAINEENKULUTUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Autoilta vaaditaan nykyään mahdollisimman pientä polttoaineenkulutusta, jotta ajossa syntyisi mahdollisimman vähän hiilidioksidia. Voidaan ajatella, että ajoneuvon polttoaineenkulutukseen vaikuttaa kolme päätekijää: ajoneuvon

tekniset ominaisuudet, itse kuljettaja sekä ajo-olosuhteet ja ajotehtävä. (Ikonen 2011.)

Polttoainegrammasta voidaan hyödyntää eri määrä energiaa, riippuen mm. moottorin rakenteesta, hyötysuhteesta tai kuormitustilasta. Puhutaan polttoaineen ominaiskulutusarvosta, jonka yksikkönä käytetään grammaa per tuotettu kilowattitunti [g/kWh]. Ajamiseen tarvittava polttoainemassa saadaan kertomalla ominaiskulutus vetopyörillä tarvittavalla työllä. Kuljettaja voi vaikuttaa suuresti ajotavallaan tarvittavien kilowattituntien määrään.

Tässä työssä keskitytään teknisten ratkaisujen ja auton fyysisten ominaisuuksien vaikutukseen polttoaineenkulutukseen. Auto voidaan rakentaa ja suunnitella lukemattomilla eri tavoilla. Jokaisella ratkaisulla on oma vaikutuksensa lopullisessa kokonaisuudessa.

Pienempi polttoaineenkulutus saadaan pienentämällä auton vastusvoimia ja parantamalla hyötysuhdetta. Kun vastusvoimia piennetään, ei ajoneuvon liikuttamiseen tarvita niin paljon energiaa. Toisaalta hyötysuhteen kasvattaminen pienentää häviöitä ja energia saadaan kohdennettua paremmin sinne, missä sitä tarvitaan. (Ikonen 2007, 34.)

Auton ajovastuksia on käsitelty tarkemmin 4. luvussa Ajovastukset ja auton ajotila. Uudet kehittyneet teknologiat puolestaan ovat mahdollistaneet auton suorituskyvyn säilymisen ja jopa kasvamisen, vaikka polttoaineenkulutusta on saatu penemmäksi.

Yksi merkittävä innovaatio on ollut hybridiajoneuvojen kehittäminen. Näistä tunnetuin on täyshybridi Toyota Prius. Se käyttää perinteisen polttomoottorin lisäksi toisena voimanlähteenään sähkömoottoria. Priuksen ominaiskulutusarvo on saatu pieneksi muun muassa kuormittamalla polttomoottoria sähkögeneraattorilla tilanteessa, jossa muutoin kyseisen moottorin kuormitus olisi pieni. (Toyota 2011.)

Erilaisten jatkuvasti toimivien mekaanisten ja hydraulisten järjestelmien korvaaminen sähköisillä laskee moottorin tehontarvetta. Nämä laitteet voidaan

kytkeä käyttöön tarvittaessa, jolloin turha käyttö voidaan välttää. Tämä säästää polttoaineen lisäksi myös toimilaitteita itseään turhalta kulumiselta. Tällaisia toimilaitteita ovat esimerkiksi sähköinen ohjaustehostin, sähköinen ilmastointijärjestelmä sekä käynnistengeneraattori. (Ikonen 2007, 34.)

Sähköinen ohjaustehostin voidaan toteuttaa joko sähköhydraulisella pumpulla tai ohjauspylvään varteen asennetulla sähkömoottorilla. Ilman hydraulikkaa toteutettu järjestelmä on hyötysuhteeltaan parempi, ja se vaatii vähemmän energiaa toimiakseen. Järjestelmällä voidaan toteuttaa myös muuttuva tehostus eri ajotilanteiden mukaan, esimerkiksi parkkeerausta tehdessä tehostetaan kääntämistä enemmän. (Bosch 2003, 704-706.)

Ilmastointilaitteessa kompressorin tehtävä on paineistaa höyryn muodossa oleva kylmäaine ja samalla nostaa sen lämpötilaa. Perinteisessä järjestelmässä auton moottori käyttää kompressoria hihnan välityksellä, mutta nykyään se voidaan toteuttaa myös sähkömoottorilla. (Bosch 2003, 855.)

Käynnistengeneraattorissa on yhdistetty sähkögeneraattori sekä käynnistimoottori yhdeksi toimilaitteeksi, joka voidaan sijoittaa moottorin ja vaihteiston väliin. Nykyään on myös erilaisia hihnalla toteutettuja ratkaisuja. Laite mahdollistaa hybridiajoneuvoissa jarrutusenergian talteenoton sekä Stop & Start -automaatiikan. Toisin sanoen auto voidaan sammuttaa esimerkiksi risteyksessä, jos suurta tarvetta energian tuotolle ei ole. (Bosch 2003, 931-932.)

Vastaavia ratkaisuja on paljon, uusia kehitetään jatkuvasti ja vanhoja parannetaan. Downsizingilla tarkoitetaan kuitenkin enemmän auton moottorin kehittämistä taloudellisemmaksi sekä auton fyysisten mittojen pienentämistä, joka vaikuttaa ajovastusvoimiin.

4 AJOVASTUKSET JA AUTON AJOTILA

Tässä luvussa esitettyjen asioiden ja laskujen lähteenä on ollut Turun ammattikorkeakoulussa järjestetyt kurssit, joita olivat keväällä 2010 järjestetyt

Auton ajotilan perusteet sekä Sähkötekniikan sovellukset ja syksyllä 2010 järjestetty Voimansiirto ja tehontarve.

Ajoneuvossa täytyy olla voimanlähde. Nykyisin se on vielä useimmiten polttomoottori. Moottorin on kehitettävä riittävä määrä vääntömomenttia ja tehoa, jotta ajoneuvo voisi liikkua, saavuttaa halutun nopeuden ja ylläpitää sitä. Auton kulkua vastustaa ajovastusvoimat, jotka ovat ilmanvastus sekä vierintävastus, ylämäkijossa nousuvastus sekä kiihdytystilanteissa kiihdytysvastus. Lisäksi moottorin tuottamaa tehoa kuluu voimansiirron häviöihin sekä apulaitteiden käyttämiseen ja elektronisten laitteiden toiminnan mahdollistamiseen. Myös ajotilanteet, joita ovat esimerkiksi erilaiset kuormaustilanteet sekä keliolosuhteet, vaihtelevat jatkuvasti.

Autolta vaadittu pienin mahdollinen teho asettaa rajoitteita downsizingille. Sen lisäksi, että sillä voidaan ajaa tiettyä vakionopeutta erilaisissa olosuhteissa, sen on saavutettava haluttu huippunopeus ja kiihtyvyys. Nämä ovat tärkeitä seikkoja ajomukavuuden sekä turvallisuuden kannalta. Auto ei saa olla sellainen, että esimerkiksi kovassa vastatuulella ei saavuteta normaaleja maantienopeuksia, tai kuljettaja joutuu sulkemaan ilmastointilaitteen ohitustilanteessa päästäkseen turvallisesti ohi. Toisaalta liikenneturvallisuudenkin kannalta maltillisempi ajotapa ja harkitut ohitukset oikeissa pakoissa saattaisivat säästää ihmishenkiä polttoaineen ja ympäristön lisäksi.

4.1 Ajotilapiirroksen laskenta Toyota Corolla 1,4 VVT-i vuosimalli 2007

Ajotilapiirros on hyvä apuväline havainnollistamaan auton suorituskykyä. Siitä nähdään voimat ajonopeuden funktiona, ja eri vaihteiden maksimaaliset vetovoimakäyrät, kun moottorilla ajetaan joka vaihteella täydellä kuormalla koko kierroslukualueen läpi. Siitä näkee myös ajovastuksien summakäyrän sekä ideaalisen vetovoimakäyrän, jos moottori toimisi jatkuvasti maksimitehollaan. Ajotilapiirrosta voidaan käyttää suunnittelun apuna muun muassa välityssuhteita valittaessa sekä tehontarvetta määritettäessä. Esimerkiksi auton huippunopeuden määrää se piste, missä suurimmalla vaihteella vetävän pyörän vetovoima on ajovastusvoimien summan kanssa yhtä suuri. Kun kaikki

polttoaineesta vetäville pyörille saatu voima kuluu vastusvoimien voittamiseen, mahdollisuutta nopeuden lisäämiseen ei enää ole.

4.1.1 Lähtötiedot

Ajotilapiirros laadittiin keskikokoisesta henkilöautosta , jossa on 1,4 litrainen vapaasti hengittävä nelisylinterinen moottori. Maksimi vääntömomentti 130 Nm saavutetaan kierrosluvulla 4400 1/min ja maksimiteho 71 kW kierrosluvulla 6000 1/min. Vaihteiden kokonaisvälityssuhteet ovat

- 1. vaihde: 16,055
- 2. vaihde: 8,623
- 3. vaihde: 5,933
- 4. vaihde: 4,389
- 5. vaihde: 3,691

Kokonaisvälityssuhteissa on huomioitu sekä vaihteen välityssuhde että vetopyörästön välityssuhde, joka on 4,529. Ilmanvastuskerroin C_D on pieni 0,28. Auton omamassa on 1265 kg. (Sukava 2007, 174.)

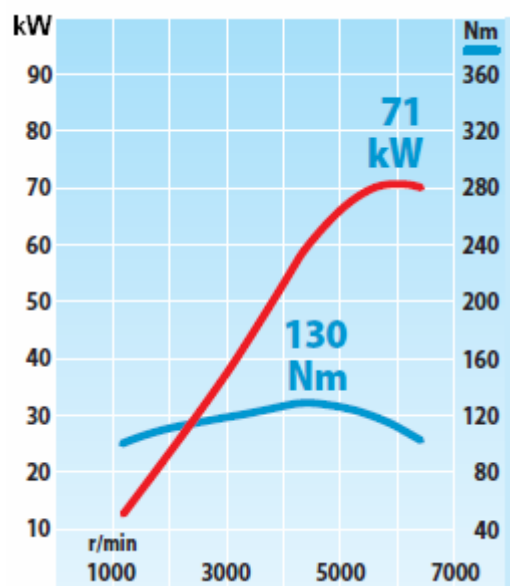
Voimansiirron kokonaishyötysuhteeksi oletetaan 0,92, mikä on luultavasti lähellä todellisuutta nykyisellä koneistustekniikalla. Todellisen hyötysuhteen määrittäminen olisi hyvin hankalaa.

Renkaan 205/55R16 dynaaminen vierintämatka on 1928 mm (STRO 2005).

Auton teholumemat luettiin tehokäyrältä (Kuvio 3) viidensadan kierroksen välein, joita vastaavat vääntömomenttilukemat laskettiin kaavalla $M_v = P/(2\pi n_m)$. Teho- ja vääntömomenttiarvot taulukoituna ovat liitteenä (Liite 1).

Taulukko 1. Lähtötiedot.

α	3°
η_{vs}	0,92
A	2,143 m ²
C_D	0,28
m	1265 kg
$M_{V\ MAX}$	130 Nm / 4400 1/min
P_{MAX}	71 kW / 6000 1/min
s_{dyn}	1928 mm



Kuvio 3. Corolla 1.4 2007 Teho- ja vääntömomenttikäyrästä (Sukava 2007, 175).

4.1.2 Laskentaperiaatteet

Laskuissa käytettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. Laskujen tulokset ovat liitteenä (Liite 1).

Auton jokaisella vaihteella laskettiin vetävälle pyörälle maksimaalinen vetovoima (Kaava 2) sekä teoreettinen ajonopeus (Kaava 1) viidensadan kierroksen välein kierrosalueella 1000...6000 1/min.

$$v = \frac{n_m}{i_{kok}} \cdot s_{dyn}$$

Kaava 1. Ajonopeuden laskenta

$$F_k = \frac{\eta_{vs} \cdot M_v \cdot i_{kok}}{r_{dyn}}$$

Kaava 2. Vetovoiman laskenta

Lisäksi laskettiin ajonopeuksia 0...210 km/h vastaavat teoreettinen vetovoima (Kaava 3), vierintävastusvoima (Kaava 4) sekä ilmanvastusvoima (Kaava 5) kymmenen kilometriä tunnissa välein.

$$F_{teor} = \frac{\eta_{vs} \cdot P}{v}$$

Kaava 3. Teoreettisen vetovoiman laskenta

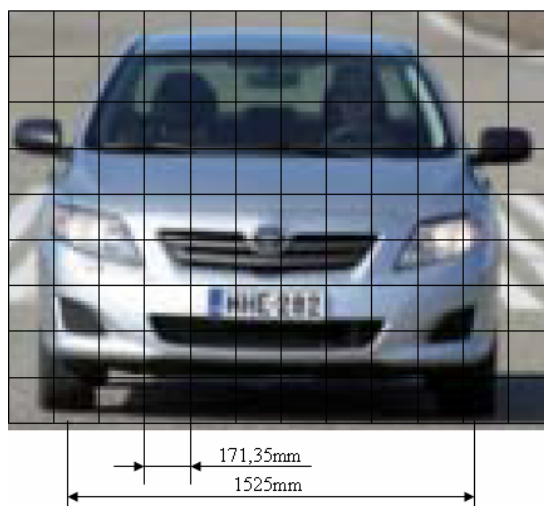
$$F_{vier} = 0,01 \cdot \left(1 + \frac{v}{1000}\right) \cdot g \cdot m$$

Kaava 4. Vierintävastuksen laskenta

$$F_{ilma} = \frac{1}{2} \cdot \rho_i \cdot v^2 \cdot A \cdot C_D$$

Kaava 5. Ilmanvastusvoiman laskenta

Ilmanvastusvoiman laskemiseksi tarvitaan auton poikkipinta-ala. On merkittävää, että poikkipinta-alan arvoon ei vaikuta esimerkiksi auton virtaviivaisuus. Poikkipinta-ala A laskettiin käyttäen apuna ruudutettua kuvaa (Kuva 1) ajoneuvon keulasta yhtä ruutua vastaavan pinta-alan avulla. Kuvasta laskemalla saatiin likimain 73 täyttä ruutua, joka vastaa pinta-alana $2,143 \text{ m}^2$.



Kuva 1. Poikkipinta-alan laskenta.

4.2 Vastusvoimat ja niiden voittamiseksi tarvittava teho

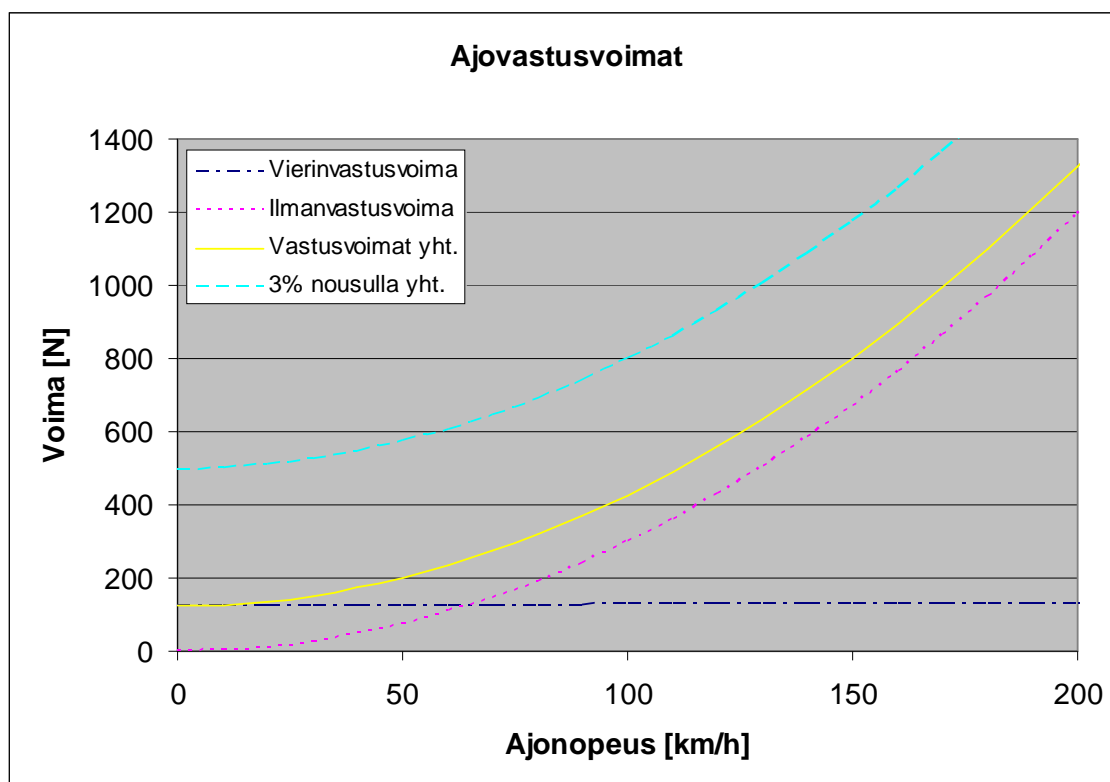
Liikenneministeri Anu Vehviläinen ehdotti lokakuun 2010 lopulla talvinopeuksien nostamista niissä tapauksissa, kun ajokeli vastaa kesäkeliä (YLE 2010). Ainoa syy tälle tuntuisi olevan matkaan tarvittavan ajan lyhentäminen, ja säästäähän sadan kilometrin matkalla 15 minuttia ajamalla sata kilometriä tunnissa kahdeksankymmenen sijaan. Kuitenkin Suomen ajaman ympäristöpolitiikkaan kannalta tuntuisi järkevämmältä laskea kesänopeudet vastamaan talvinopeuksia. Yksi merkittävä syy tähän on auton kulkua vastustavissa voimissa.

Edellä olleissa laskuesimerkeissä auton on oletettu ajavan ihanneolosuhteissa, jolloin tuulesta aiheutuvaa vastusta tai tien epätasaisuuksia ym. ympäristöstä aiheutuvia vastuksia ei ole huomioitu.

Auton ajovastusvoimat on esitetty kuviossa 4, jossa on erikseen auton vierintä- ja ilmanvastuskuvaajat, niiden summakäyrä sekä toinen summakäyrä, jossa on huomioitu nousuvastus. Nousuvastukseen vaikuttaa ainoastaa mäen nousukulma sekä ajoneuvon paino (Kaava 6). Mäen nousuprosentiksi valittiin maltillinen 3 %, joka tarkoittaa 3 cm:n nousua yhden metrin matkalla.

$$F_{\text{nousu}} = G \cdot \sin \alpha$$

Kaava 6. Nousuvastuksen laskenta



Kuvio 4. Ajovastusvoimat Corolla 1.4 2007.

Kuvaajista huomataan vastusvoimien vaikutus. Vierintävastus muuttuu hyvin vähän ajonopeudesta riippumatta. Se on luokkaa 120...130 N liikkeellelähdestä alkaen. Se on kuitenkin ilmanvastusvoimaa merkittävämpi nopeuteen 60 km/h

asti. Nousuvastus vaikuttaa merkittävästi, sillä jo näinkin pieni nousukulma lähes kolminkertaistaa vetovoiman tarpeen pienemmillä nopeuksilla. Vielä sadan kilometrin tuntinopeudessa 3 % ylämäessä vastusvoimat ovat liki kaksinkertaiset tasaisella ajoon verrattuna.

Tehontarpeen kannalta ilmanvastus näyttäisi olevan merkittävämpi ja siihen voidaan vaikuttaa enemmän kuin vierintävastukseen. Jo pieni nopeuden lisäys kasvattaa ilmanvastusvoimaa rajusti. Ajonopeuden nosto kaksinkertaiseksi kasvattaa ilmanvastusvoiman toisessa potenssissa, eli nelinkertaiseksi.

Teho voidaan laskea voiman ja nopeuden tulona (Kaava 7).

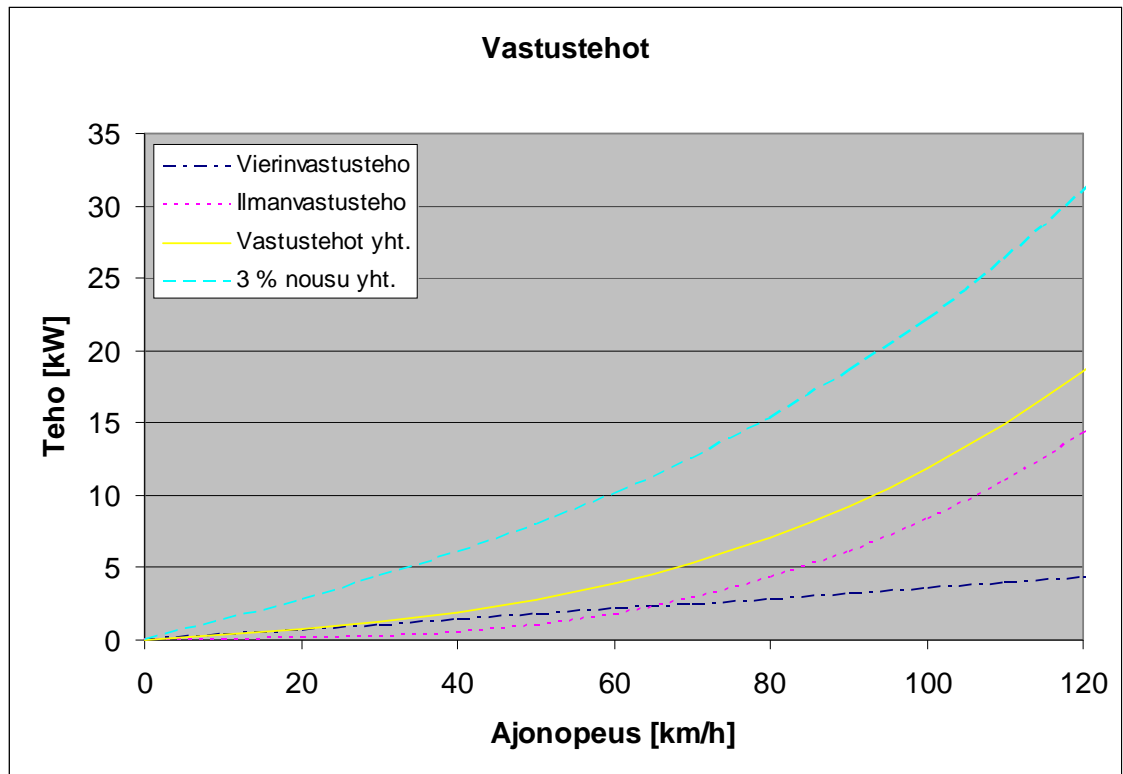
$$P = F \cdot v$$

Kaava 7. Tehon laskenta

Esimerkiksi ajettaessa 80 km/h ilmanvastusvoima on noin 190 Newtonia, mutta nopeuden nosto 120 kilometriin tunnissa kasvattaa ilmanvastusvoiman 430:een Newtoniin, Corollan pienestä ilmanvastuskertoimesta huolimatta. Tällöin vastusvoimat ovat yhdessä lähes 560 Newtonia. Tehoa vastusvoimien voittamiseen kuluu tällöin

$$P = F \cdot v = 560 \text{ N} \cdot \frac{120000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 18666,67 \text{ W} \approx 18,7 \text{ kW}$$

Vastaavasti laskettuna 80 kilometrin tuntivauhdissa vastusvoimien voittamiseen vaadittaisiin vain noin 7,1 kW. Kuvioista 5 havaitaan jälleen jo loivan ylämäen voimakas vaikutus tehontarpeeseen. Ajamalla ylämäki 80 km/h sen sijaan, että ajettaisiin 100 km/h, pienenee tehontarve yli 7 kW.



Kuvio 5. Ajovastustehot Corolla 1.4 2007.

Autojen aerodynamiikka on kehittynyt huimasti viime vuosikymmenten aikana. Virtaviivainen muoto sekä auton taakse muodostuvien ilmapyörteiden välttäminen on tärkeää, mutta auton poikkipinta-ala on kuitenkin loppujen lopuksi merkittävin tekijä. Nykyiset pienet henkilöautot mielletään lähinnä kaupunkiautoiksi, missä ne ketteryytensä sekä pienen kulutuksensa ansiosta ovat parhaimmillaan. Kaupunkinopeudet harvoin ylittävät 60 km/h, joka on se nopeus, jossa Corollan tapauksessa ilmanvastusvoima kasvoi vierintävastusta suuremmaksi.

Nousuvastusvoima pysyy vakiona, jos mäen kaltevuus ei muutu. Se riippuu vain nousukulman lisäksi auton painosta. Tässä tapauksessa 3 % nousulla nousuvastus on auton painon sinikomponentin mukaan 372 N, joka vastaa 120 kilometrin tuntivauhdissa 12,4 kW:n tehoa. Yhdessä ilmanvastus- ja vierintävastustehon kanssa vaaditaan jo vastusvoimien voittamiseksi yli 31 kW tehoa.

Moottorin tehon määrää käytännössä se, kuinka suuri kiihtyvyys autolle halutaan. Tehontarve voidaan laskea halutuilla suorituskyvyn arvoilla (Kaava 9). Kiihdytettäessä vakioteholla kiihtyvyys alenee nopeuden kasvaessa. Teho lasketaan keskimääräisellä kiihtyvyydellä (Kaava 8).

$$a_k = \frac{v_1 - v_2}{t}$$

Kaava 8. Keskimääräinen kiihtyvyys

$$P = F \cdot v = m \cdot a \cdot v$$

Kaava 9. Tehontarve kiihdytyksessä

Lasketaan tehontarve P_1 nopeuteen 60 km/h ajassa 10 s ja P_2 100 km/h ajassa 25 s. Esimerkissä lasketaan vain massan kiihdyttämistä. Todellisuudessa ajovastukset kasvattaisivat tarvittavan tehon määrää jonkin verran. Valmistaja ilmoittaa auton omamassaksi 1265 kg. Laskuissa massa on lisätty 75 kg kuljettajasta johtuen.

$$P_1 = 1340 \text{ kg} \cdot \frac{\left(\frac{60}{3,6}\right) \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10 \text{ s}} \cdot \frac{30 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} = 18611,11... \text{ W} \approx 18,6 \text{ kW}$$

$$P_2 = 1340 \text{ kg} \cdot \frac{\frac{100}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{25 \text{ s}} \cdot \frac{50 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} = 20679,01... \text{ W} \approx 20,7 \text{ kW}$$

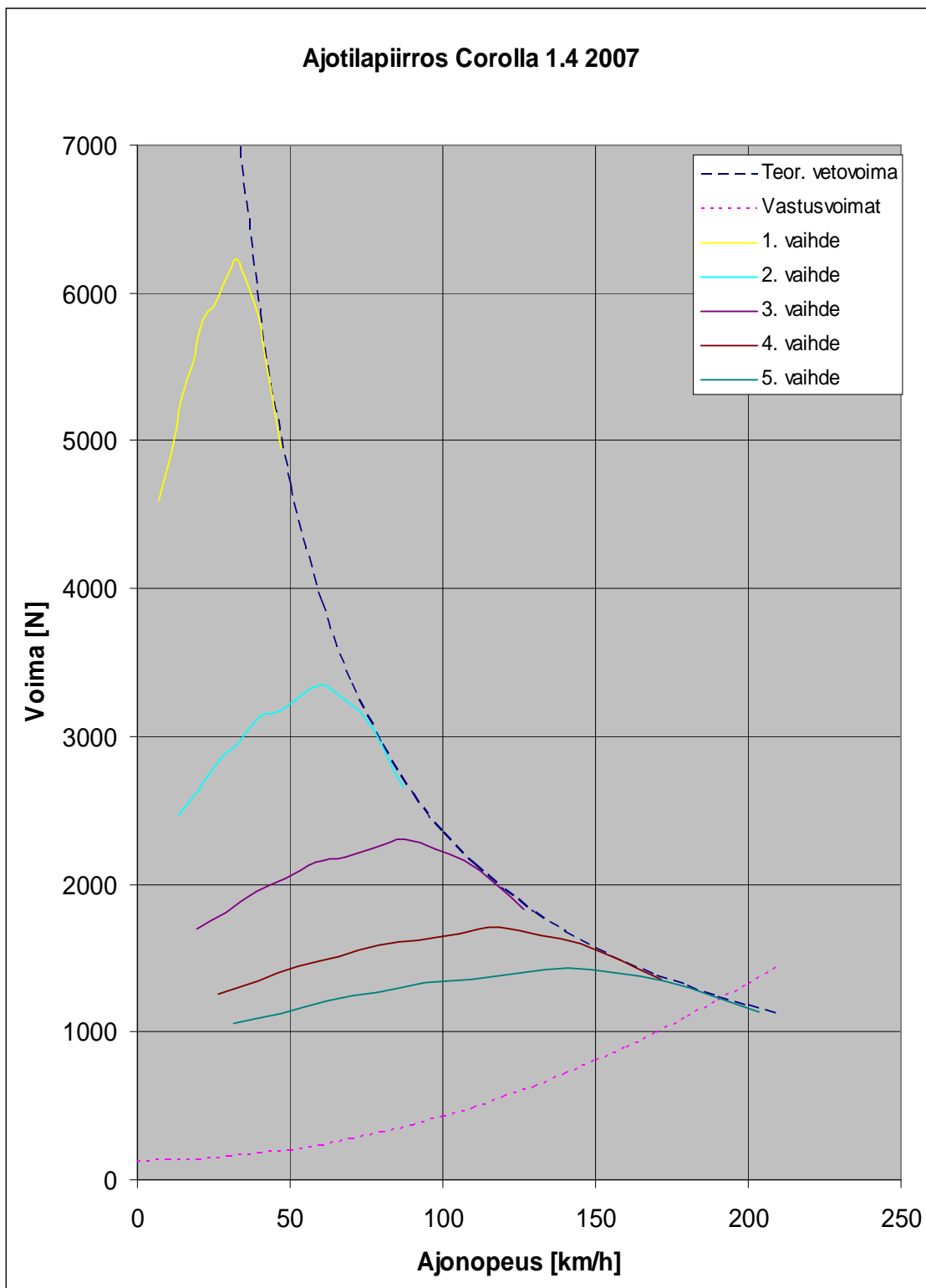
Kun kiihtyvyyden kaavassa nimittäjänä oleva aika kasvaa, kiihtyvyys pienenee sekä kiihdyttämiseen tarvittava teho pienenee. Tehoa tarvitaan aina vähemmän,

mitä hitaammin ollaan valmiita kiihdyttämään tavoitenopeuteen. Tarpeettoman hidas kiihdyttäminen toisaalta ei ole enää taloudellista.

Kaupunkiajossa riittäisi vastusvoimien sekä kiihdytystehontarpeen puolesta nykyistä pienempi moottori. Jopa alle 30 kW tehoisella moottorilla ajaminen olisi vielä mielekästä. Usein autolla ajetaan kuitenkin myös maanteillä, joilla nopeudet sekä niiden myötä tehontarpeet ovat suurempia. Laskuissa käytetyn Corollan moottoritehoa 71 kW ei välttämättä voida laskea kovinkaan paljon, jotta ajaminen olisi mahdollista eri ajotilanteissa. Ehkä tämän kokoisessa henkilöautossa 50 kW vielä riittäisi, jos välityssuhteet valittaisiin oikein. Täytyy kuitenkin muistaa, että monessa nykypäivänä myytävistä autoista maksimiteho on luokkaa 100 kW ja enemmänkin. Ei tunnu järkevältä ostaa tällaista autoa yhteiskunnassa, joka yrittää kaikin keinon rankaista suurista ja suurikulutuksisista autoista.

4.3 Ajotilapiirros ja todellinen tehontarve

Ajotilapiirroksista (Kuvio 6.) nähdään jokaisen vaihteen maksimaalinen vetovoimakäyrä ajonopeuden funktiona, teorettinen vetovoimakäyrä sekä ajovastusten summakäyrä, jossa nousuvastusta ei ole huomioitu. Kuvaajasta nähdään esimerkiksi Corollan teorettinen huippunopeus, joka olisi noin 190 km/h. Käytännössä se on hieman pienempi. Tämä saattaa johtua laskuissa käytetyistä liian optimistisista arvoista, esimerkiksi hyötysuhteesta jonka oletettiin olevan 0,92. Myös poikkipinta-alan laskennassa on saattanut tulla epätarkuutta. Lisäksi käytännössä ajettaessa oikealla autolla oikeasti vallitsevissa olosuhteissa on mukana tekijöitä, joita ei laskuissa saa huomioitua.



Kuvio 6. Ajotilapiirros Corolla 1.4 2007.

Suomessa suurin sallittu maantienopeus on 120 km/h. Ideaalisissa olosuhteissa tasaisella tiellä vastusvoimista aiheutuvaksi tehontarpeeksi vetopyörillä saatiin tässä nopeudessa noin 18,7 kW. Koska voimansiirron hyötysuhteeksi oletettiin 92 %, tarvitaan moottorilta 20,3 kW tehoa nopeuden ylläpitämiseksi. Lisäksi auton erilaiset kuluttajat vaativat oman osuutensa tehosta.

Sähkötekniikan sovellukset -kurssilla Turun ammattikorkeakoulussa keväällä 2010 luennon aiheena oli auton energiankuluttajat. Kuluttajat voidaan jaotella ryhmiin niiden ominaisuuksien perusteella. Tällaisia ryhmiä ovat mm. käynnistysjärjestelmä, kestokuluttajat sekä pitkä- ja lyhytaikaiset kuluttajat.

Käynnistysjärjestelmä ei vaikuta tehontarpeeseen käynnistyksen jälkeen, mutta kestokuluttajiin kuuluvat sytytys- ja polttoainejärjestelmät sekä turvalaitejärjestelmät vaikuttavat. Kestokuluttajia ovat sellaiset järjestelmät ja toimilaitteet, jotka ovat auton käydessä aina päällä tai toiminnassa, eikä niitä saa kytkettyä pois. Pitkä- ja lyhytaikaiset kuluttajat ovat erilaista auton elektronisia ja mekaanisia laitteita, esimerkiksi ajoneuvon valojärjestelmä, lämmityslaitteen puhallin, ilmastointijärjestelmä, lasien tai peilien lämmittimet, viihde-elektronikka jne. Kaiken kaikkiaan tehon tarve näillä järjestelmillä normaalissa ajossa voisi keskimäärin olla luokkaa 2...3 kW ja jos on paljon kuluttajia päällä samanaikaisesti, esimerkiksi lasien tai istuimien lämmittimiä, kaukovalot, sumuvalot, lasinpyyhkijät yms. voi tehontarve kasvaa vielä jopa puoli kilowattia.

Jos oletetaan apulaitteiden tehontarpeeksi 3 kW, tällöin ajettaessa moottoritiellä 120 km/h vaadittaisiin Corollan moottorilta kaikkiaan yli 23 kW tehoa. Ja tässäkään tapauksessa ei ole vielä huomioitu keliolosuhteita eikä kuormausta eikä varaa nopeuden nostamiseen enää olisi, jos moottorin teho rajoittuisi tähän lukemaan. Moottorin maksimitehoa ei voida siis suunnitella pelkästään vakioajonopeudella tarvittavan tehon perusteella, vaan erilaisiin mäkiajotilanteisiin sekä kiihdytyksiin täytyy tehoa olla käytettävissä. Jossakin ajotilanteessa ilmenevää tehonpuutetta voidaan myös korvata jollakin muulla ratkaisulla, esimerkiksi hybridiajoneuvojen tapauksessa toisella voimanlähteellä, sähkömoottorilla.

4.4 Väilyssuhteiden ja tehon laskun vaikutus taloudellisuuteen

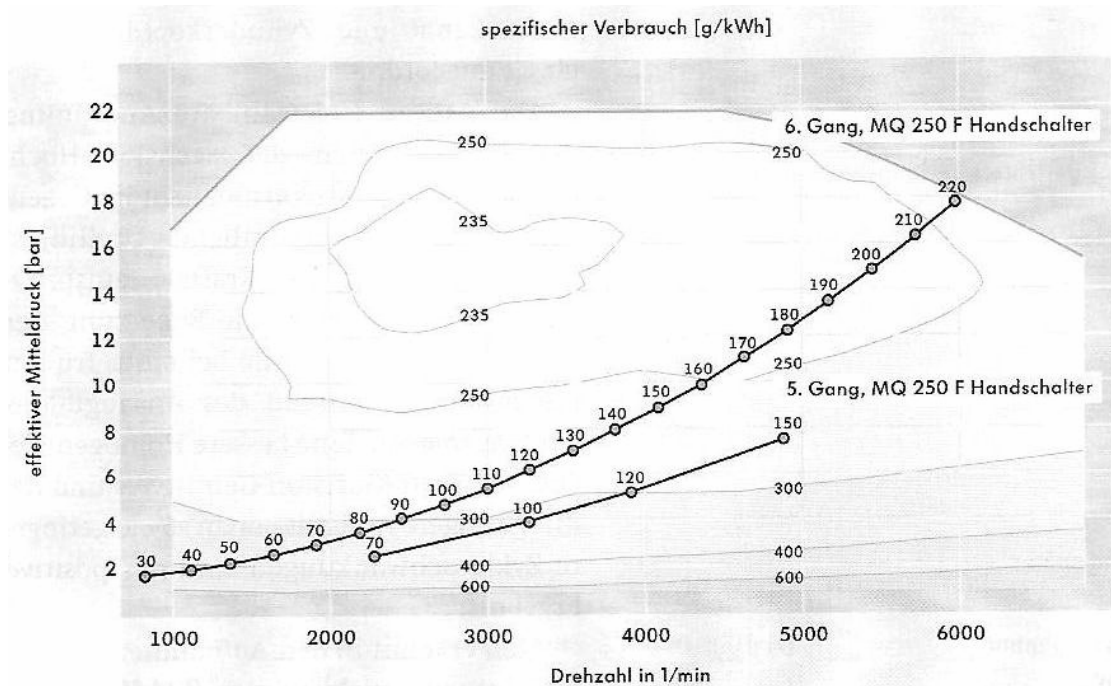
Moottorin ominaiskulutuskäyrästä on esitetty kulutettu polttoaine suhteessa moottorin tuottamaan mekaaniseen energiaan. Laskuesimerkeissä käytetyn Corollan ominaiskulutuskäyrästä ei ollut saatavilla, Ismo Hannila vastasi Toyota Auto Finland Oy:stä 27.1.2011. Periaatteeltaan käyrästä on esitetty ominaiskulutusarvot alueina koordinaatistossa, jossa vaaka-akselilla on moottorin pyörintänopeus ja pystyakselilla tehollinen keskipaine tai moottorin vääntömomentti. Pienimmät ominaiskulutusarvot ovat yleensä suurimman vääntömomentin pyörimisnopeuden tuntumassa lähes täydellä kuormalla.

Kuviossa 7. on esitetty Volkswagen Golfin 1,4-litraisen kaksoisahdetun TSI-moottorin ominaiskulutuskäyrästä, jossa on lisäksi ajovastuskäyrät 5. ja 6. vaihteella ajettaessa. Kuvioista nähdään Golfin pienin ominaiskulutusalue, joka on ottomoottorille erinomainen 235 g/kWh. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että parhaimmillaan yhden kilowattitunnin tuottamiseksi tarvitaan 235 grammaa bensiiniä. Ajovastuskäyrästä nähdään se, mille ominaiskulutusalueelle sijoitetaan ajettaessa tiettyä nopeutta. Esimerkiksi 100 km/h voidaan ajaa 5. vaihteella, jolloin ominaiskulutus on hieman yli 300 g/kWh, tai 6. vaihteella, jolloin ominaiskulutus on hieman alle 300 g/kWh.

Ominaiskulutuskäyrästä yhteydessä olisi mahdollista esittää vakiotehokäyriä. Teho on laskennallinen suure, joka saadaan moottorin kulmanopeuden ja vääntömomentin tulona (Kaava 10.). Sama teho voidaan saavuttaa moottorin eri pyörintänopeuksilla, jolloin vakiotehokäyrän kuvaajasta tulee laskeva. Tällöin samaa nopeutta ajettaessa voidaan sijoittaa ominaiskulutuskäyrästä eri alueille. Väilyssuhteilla voitaisiin moottori ja vaihteisto toteuttaa siten, että esimerkiksi yleisimillä maantienopeuksilla moottori kävisi pienen ominaiskulutuksen alueella.

$$P = \omega \cdot M_v = 2 \cdot \pi \cdot n_m \cdot M_v$$

Kaava 10. Tehon laskenta



Kuvio 7. Volkswagen Golf 1.4 TSI 125 kW ominaiskulutuskäyrästä (Krebs ym. 2005b, 984).

Syksyllä 2010 Turun ammattikorkeakoulussa järjestetyllä kurssilla Voimansiirto je tehontarve käsiteltiin vaihteiston suunnittelun perusteita. Vaihteiston yhteydessä puhutaan vaihdeportaasta. Se valitaan halutun moottorin pyörintänopeusalueen mukaan ja sen määrittämiseen on erilaisia malleja. Vaihdeporras voi olla geometrinen tai progressiivinen. Corollan tapauksessa nähdään ajotilapiirroksesta progressiivisen vaihdeportaan vaikutus. Suuremmilla vaihteilla välityssuhteet ovat lähempänä toisiaan, jolloin suurilla nopeuksilla vaihtamisessa ei synny liian suuria hyppäyksiä ja näin tehonpuutetta. Uusia välityssuhteita valittaessa pitäisi huomioida tämä seikka, jotta auto pysyisi ajomukavuudeltaan hyvänä. Liian tiheät välityssuhdeportaat puolestaan aiheuttavat jatkuvaa vaihtamisen tarvetta.

Haluttaessa olisi mahdollista suunnitella auton voimalinja sellaiseksi, että pienitehoisellakin moottorilla ajaminen olisi sujuvaa, jos vain auton huippunopeudesta oltaisiin valmiita tinkimään. Lisäksi valitsemalla välityssuhteet siten, että ajettaessa suurimmalla vaihteella yleisintä

maantienopeutta moottorin pyörintänopeus asettuisi maksimivääntömomentin kohdalle, saataisiin moottorin hyötysuhdetta käytännön ajotilanteissa paremmaksi, koska moottori kävisi suuren osan käyntiajastaan pienen ominaiskulutusarvon aluella.

4.5 Tottumus ylitehokkaisiin autoihin

Tarkastelun kohteena olevan Toyota Corollan kiihtyvyydeksi nollasta sataan kilometriä tunnissa on ilmoitettu 12,6 sekuntia (Sukava 2007, 175). Nopeasti tapahtuvaan kiihdytykseen ei välttämättä tarvita paljon tehoa, jos kiihdytystä ei viedä kovin suuriin nopeuksiin asti, jolloin ilmanvastusvoima kasvaa suureksi.

Nykyiset henkilöautot tuntuvat ylitehokkailta normaalia ajamista silmällä pitäen, koska esimerkiksi 100 kW maksimitehon antava moottori ei ole mikään harvinaisuus tavalliseksi henkilöautoksi tarkoitettussa mallissa.

Moottorin suurta tehoa tarvitaan lähinnä suurilla nopeuksilla ajettaessa sekä isoilla vaihteilla nopeissa kiihdytyksissä. Ihmiset ovat mieltäneet tietyt suorituskyvyn arvot standardeiksi, joihin autoja verrataan. Auton suorituskyvystä puhuttaessa käytetään tehon yksikkönä hevosvoimaa, mikä ei ole SI-järjestelmän mukainen suure. Moni mieltää 70 hevosvoimaa vähäiseksi, 120 keskiverroksi ja 200 runsaaksi. Kilowatteina vastaavat arvot ovat 51,5; 88,2 ja 147,1. Hevosvoimista puhuminen on mielekkäämpää ehkä siksi, että koska luku itsessään on suurempi, auto tuntuu suorituskyykyisemmältä. On hienompaa sanoa autossaan olevan 120 hevosvoimaa kuin 88 kilowattia.

Automainonnassa on nykyään teholumemat korvattu jo auton hiilidioksidiarvolla, mistä kuluttajat ovat ehkä hiljalleen kiinnostumassa enemmän, sillä verotus suosii pienten CO₂-päästöjen autoja. Koska CO₂-päästö on suoraan kulutuksesta riippuvainen, tarkoittaa tämä samalla pientä polttoaineenkulutusta. Autonvalmistajilla on vaikea tehtävä pienentää polttoaineenkulutusta tinkimättä suorituskyvystä, sillä se vaikuttaa olevan ostajalla vaatimuksena.

Tapauksessa, jossa laskettiin Corollan vastusvoimia, voidaan miettiä, onko esimerkiksi ylämäessä nopeuden oltava niinkin suuri kuin 120 km/h. Jos suurin

sallittu nopeusrajoitus olisi 80 km/h, tulisi Corollan vastusvoimien voittamiseksi 3 % ylämäessä tarvitsemaksi tehoksi enää 15,4 kW, mikä on noin puolet 120 km/h nopeudesta.

Sillä asennemuutoksella, että maantienopeudet hyväksyttäisiin pienemmiksi, voitaisiin pienet henkilöautot ottaa myös matka-ajoon. Pienemmät nopeudet alentaisivat polttoainekulutusta sekä parantaisivat turvallisuutta liikenteessä.

5 DOWNSIZING DIESELMOOTTOREISSA

Dieselmoottori eroaa bensiinimoottorista seoksen sytyttymisperiaatteella. Bensiinimoottorissa polttoaineen ja ilman seos sytytetään sähköllä tuotetun kipinän avulla, kun taas dieselmoottorissa syttyminen tapahtuu itsestään korkean paineen ja sen myötä korkean lämpötilan seurauksena. Dieselmoottori toimii lisäksi ilmaylimäärällä, jolloin moottoriin menevää ilmaa ei kontrolloida erillisellä kaasuläpällä. (Bosch 2003, 418.)

Dieselmoottoreilla on päästy hieman paremiin hyötysuhdelukemiin kuin ottomoottoreilla. Turun ammattikorkeakoulussa syksyllä 2009 järjestetyllä moottoritekniikan kurssilla sanottiin dieselmoottoreiden hyötysuhteen olevan luokkaa 32...52 %, kun taas ottomoottoreilla se on luokkaa 20...39 %. Dieselmoottorin hyötysuhdetta parantaa mahdollisuus käyttää korkeampaa puristussuhdetta, koska polttoaine syötetään juuri ennen syttymistä. Lisäksi pumppaushäviöt jäävät pois kaasuläpättömän rakenteen ansiosta sekä ilmaylimäärästä aiheutuva laiha seos kasvattaa energian muuntohyötysuhdetta.

5.1 Uusia dieselmoottoreiden teknisiä ratkaisuja

Dieselmoottoreiden uudet kehittyneet tekniset ratkaisut ovat tehneet niistä suorituskykyisempiä, mutta kuitenkin entistä taloudellisempia. Ne eivät välttämättä edusta suoranaisesti downsizingia, mutta ovat onnistuneet parantamaan moottoreiden hyötysuhdetta sekä pienentämään kulutusta.

Yksi tekijä oli turboahtamisen yleistyminen dieselmoottoreissa. Turbo- eli pakokaasuahdin on järkevää laitaa moottoriin, joka toimii ilmaylimäärällä.

Tällöin palotilaan saadaan enemmän happea ja palaminen tapahtuu tehokkaammin. Koska dieselmoottorin imuilmaa ei rajoiteta, pakokaasuvirtaus on ottomoottoria suurempi ja turbo pyörii paremmin jo alhaisilla moottorin pyörintänopeuksilla. Lisäksi turbon ylikuumenemisen riski on ilmaylimäärästä johtuvan alhaisemman pakokaasun lämpötilan vuoksi pienempi. Ahdin lisää myös ajomukavuutta moottorin vääntömomenttia kasvattamalla. Turboahdin ottaa käyttövoimansa virtaavasta pakokaasusta, jolloin se parantaa moottorin hyötysuhdetta. (Bosch 2003, 432.)

Perinteisen turboahtimen ongelma on sen hidas reagointi nopeisiin kuormanmuutoksiin sekä huono vääntömomentti alhaisilla kierroksilla. Aikaisemmin kehitettiin muuttuvasiipiset pakokaasuahdit, jolloin ahtopainetta voitiin säätää turbon siiven kulmaa muuttamalla. Pienillä virtauksilla turbo saadaan pyörimään nopeammin sulkemalla siipiä. Nykyisin on kehitetty uudentyyppinen kaksivaiheahdin, joita on jo käytössä joissakin dieselmoottoreissa. Mekanismi koostuu isosta ja pienestä turboahdistesta, joista pienempi toimii jo pienillä pakokaasun virtauksilla ja ikään kuin herättää isomman ahtimen. (Adomeit ym. 2010, 51-52.)

Toinen esimerkki dieselmoottorin uusista teknisistä ratkaisuista on yhteispaineruiskutusjärjestelmä Common Rail. Sen etuna on mm. se, että ruiskutusaine ei ole riippuvainen pyörintänopeudesta eikä ruiskutusmäärästä, vaan se tuotetaan korkeapainepumpulla varaajaputkeen. Nopeasti avattavilla ja suljettavilla polttoainesuuttimilla voidaan suorittaa esiruiskutus, joka auttaa varsinaisessa ruiskutuksessa annostellun polttoaineen syttymistä. Polttoainetta voidaan myös ruiskuttaa useita kertoja yhden palotapahtuman aikana. Näin palamisesta on saatu tehokkaampaa ja hallitumpaa. Järjestelmä vaatii kehittyneen moottorinohjausyksikön. (Bosch 2003, 587-588.)

5.2 Downsizingin mahdollisuudet dieselmoottoreissa

Dieselmoottorit ovat vielä nykymittapuullakin taloudellisia, mutta paineita downsizingille on niilläkin. Downsizingit hyödyt voidaan jakaa termodynamiseen ja mekaaniseen. Termodynaamisesta näkökulmasta saavutettaisiin etua

pienemmällä iskutilavuudella sekä kuormittamalla moottoria enemmän. Näin päästäisiin ominaiskulutuskäyrästöllä paremmalle toiminta-alueelle. Mekaanisesta näkökulmasta taas liikkuvien osien kitkojen pienentäminen sekä sylinterien lukumäärän vähentäminen olisi edullista. Tulevaisuudessa fyysisesti pienempiä dieselmoottoreita voitaisiin hyödyntää hybridiajoneuvoissa. (Schommers ym. 2011, 13.)

Mercedes-Benzin uudessa E-sarjassa on edeltäjästään tuttu 3,0 litran V6 dieselmoottori korvattu nelisylinterisellä 2,2 litraisella kaksivaiheahtimella varustetulla dieselmoottorilla. Moottorin suorituskyky säilyi ennallaan, mutta kulutus laski 14 %. (Schommers ym. 2011, 14.)

5.3 Downsizingin ongelmat dieselmoottoreissa

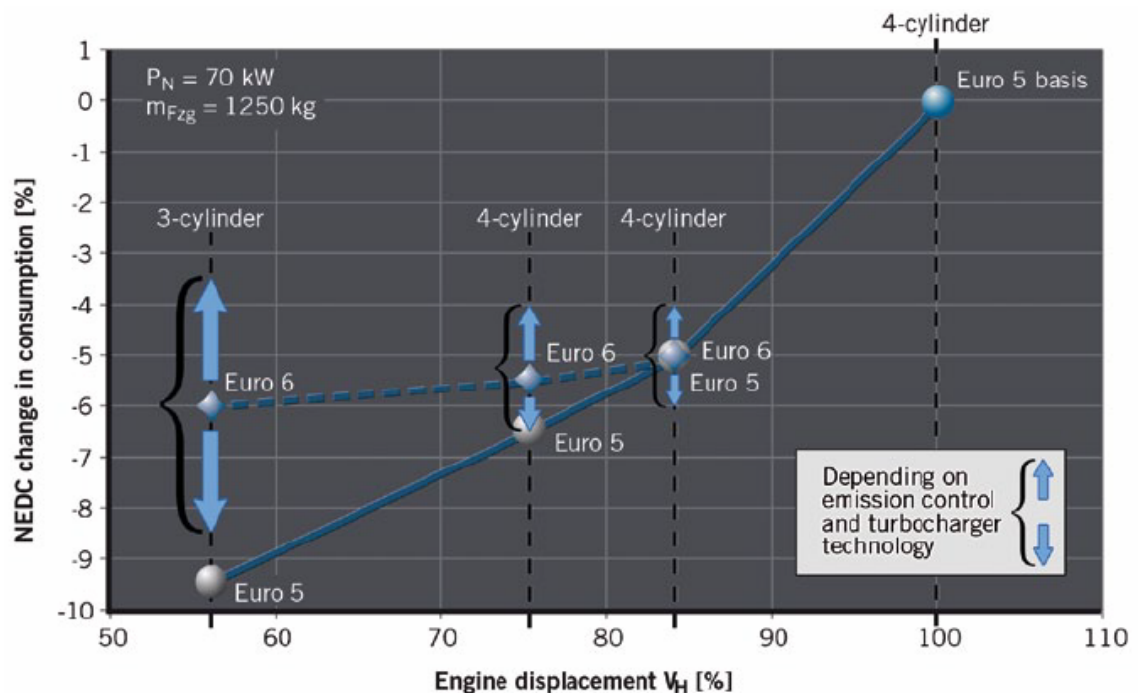
Dieselmoottoreissa ei kontrolloida palotilaan menevää ilmamäärää. Toisin kuin ottomoottoreissa, joissa lambda-anturin avulla säädetään polttoaineannos sopivaksi ilmamassa tai ilmamäärä mittaamalla, dieselmoottoreissa palotilaan pyritään saamaan ilmaa mahdollisimman paljon. Tästä johtuen dieselmoottoreiden taloudellisuutta parannettaessa ei voida hyödyntää kaikkia samoja keksintöjä kuin ottomoottoreissa. Lisäksi jos moottorin iskutilavuutta pienennetään, saattavat käynnistykset sekä alhaisista nopeuksista tapahtuvat kiihdytykset tulla ongelmallisiksi. Tämän takia dieselmoottoria ei voida suunnitella liian pieneksi. (Schommers ym. 2011, 14.)

Turun ammattikorkeakoulun syksyllä 2009 järjestetyllä Moottoritekniikka ja päästöjen hallinta -kurssilla kerrottiin typen oksidien eli NO_x -yhdisteiden olevan dieselmoottoreiden ongelmallisimpia päästökomponentteja. Jotta moottorista saataisiin enemmän tehoa sekä se toimisi taloudellisemmin, NO_x -tuotanto useimmiten lisääntyy. NO_x -päästöjä voidaan pienentää erilaisilla katalysaattoriratkaisuilla, esimerkiksi NO_x :a varastoivalla de- NO_x -katalysaattorilla tai ammoniakkaa pelkistimenä käyttävällä SCR-puhdistimella.

Yksi keino vähentää NO_x -päästöjä on pakokaasujen takaisinkierätystoiminto EGR. Jos iskutilavuutta on pienennetty, mutta moottorista halutaan tietty teho,

asettaa tämä turboahtimelle omat vaatimuksensa. Osakuormalla ei ahtopainetta saada tarpeeksi riittävän EGR-arvon saavuttamiseksi. Kaksivaiheahdin olisi lähes pakollinen. (Schommers ym. 2011, 14-15.)

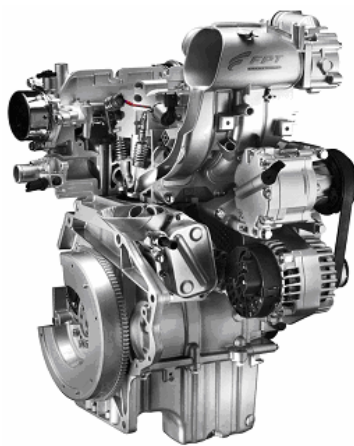
Kuviossa 8. on kuvattu iskutilavuuden muutoksen vaikutus kulutukseen uudessa Euroopan ajosyklissä (New European Driving Cycle NEDC). Kuvaaja on autosta, jossa on 70 kW maksimitehon tuottava nelisylinterinen rivimoottori sekä auton paino on 1250 kg. Kolmisylinterisellä moottorilla voitaisiin päästä 70 kW:n suorituskykyyn, jolloin Euro 5 päästönormeilla polttoainesäästöt olisivat noin 9 %. Pakokaasut pitäisi kuitenkin käsitellä joko de-NO_x-katalysaattorilla tai autossa tulisi olla EGR-järjestelmä. Kolmesylinterinessä moottorissa olisi lisäksi omat ongelmansa värähtelyjen sekä melun eliminoimisessa. (Schommers ym. 2011, 14.)



Kuvio 8. Iskutilavuuden muutoksen vaikutus kulutukseen (Schommers ym. 2011, 14).

6 FIAT TWINAIR KAKSISYLINTERINEN MOOTTORI

Fiat on mennyt pidemmälle kuin muut autonvalmistajat toteuttaessaan visioitaan downsizingista. Uudessa turboahdetussa ottomoottorissa on vain kaksi sylinteriä ja sen iskutilavuus on pieni 0,9 litraa. Moottorille luvataan yhtä suuri suorituskky kuin 50 % suuremman iskutilavuuden omaaville vapaasti hengittäville moottoreille, kuitenkin 25 % pienemmällä kulutuksella. (Mastrangelo ym. 2011, 4.)



Kuva 2. Fiat TwinAir 900 cc.

Fiat on aina keskittynyt henkilöautoissaan pieneen tai jopa miniluokkaan. Se hyötyy tästä valinnastaan jatkuavsti kiristyvien päästönormien vuoksi. Fiatin uusi moottori on niin sanottu MultiAir-moottori, eli sen palamiseen käyttämää ilmamäärää voidaan kontrolloida tarkasti palamisen aikana venttiileiden muuttuvan ajoituksen sekä muuttuvan nousumatkan avulla, jolloin erillistä kaasuläppää ei imusarjassa ole. Kaasuläpättömän moottorin etuja ovat mm. osakuormilla esiintyvien ilmanpumppaushäviöiden väheneminen, nopea reagointi sekä sisäisen pakokaasujen takaisinkierätyksen hallinta. Valmistaja kutsuu itse moottoria nimellä TwinAir. Uutta moottoria tehdään eri tehoversioina alkaen 48 kW:sta aina 77 kW:iin asti. Moottoria tullaan pääosin käyttämään pienissä kaupunkiajoon tarkoitetuissa autoissa. (Mastrangelo ym. 2011, 5.)

Kaupunkiajossa nopeusrajoitukset ovat tavallisesti 20...60 km/h. Ruuhka-aikoina ei välttämättä edes saavuteta sallittua nopeutta. Edellä lasketusta ajovastuskäyrästä nähdään, kuinka Corollan tapauksessa vierintävastus on ilmanvastusta suurempi noin 60 km/h:iin saakka. Tästä voidaan päätellä, ettei ilmanvastuksella ole suurta merkitystä kaupunkiajossa, jossa nopeudet ovat yleensä tätä alhaisempia. 130 Newtonin vierintävastus ajettaessa esimerkiksi 50 km/h vaatii vain 1,8 kW tehoa. Kun otetaan huomioon todellisuudessa vallitsevat ajo-olosuhteet, ympäristön sekä kuljettajan asettamat vaatimukset, ei Fiatin uusi moottori vaikuta lainkaan liian pieneltä kaupunkiauton moottoriksi.

6.1 Moottorin suunnittelusta

Uudenlaisen moottorin suunnitteluprosessi aloitettiin iskuilavuuden määrittämisestä, jolla saavutettaisiin haluttu suorituskyky mahdollisimman pienellä polttoaineenkulutuksella. Toinen vaihe oli moottorin muiden päämittojen määrittäminen, mm. sylinterien lukumäärä, sylinterin halkaisija ja iskun pituus. Määrävinä tekijöinä olivat polttoaineen kulutus, kustannukset, suorituskyky sekä NVH (noise, vibration and harshness), jolla tarkoitetaan melua, värähtelyjä sekä kovuutta. (Mastrangelo ym. 2011, 5.)

Kaksisylinterisessä moottorissa on omat vaikeutensa, lähinnä värähtelyjen eliminointi. Suunnittelussa kiinnitettiin huomiota mm. kampiakselin kammenkauloihin, jotka voitiin asettaa joko 180° tai 360° välein. Fiat päätyi 360 asteeseen lähinnä sen vuoksi, että tasaisin väliajoin tapahtuva palaminen tuottaa tasaisemman vääntömomentin. (Mastrangelo ym. 2011, 5.)

Moottorin pienen NVH-arvon saavuttamiseksi suunnitteluvaiheessa moottori mallinnettiin CAE-simulointiohjelmalla. Eri pinnat tutkittiin niiden värähtelyjen ja melun mukaan. Näin löydettiin ne kohdat, joihin suunnittelussa piti kiinnittää huomiota. MultiAir-tekniikka auttoi osaltaan, sillä tarkkaan ohjatussa palotapahtumassa syntyy vähän värähtelyjä ja melua verrattuna tavalliseen moottoriin. (Mastrangelo ym. 2011, 9.)

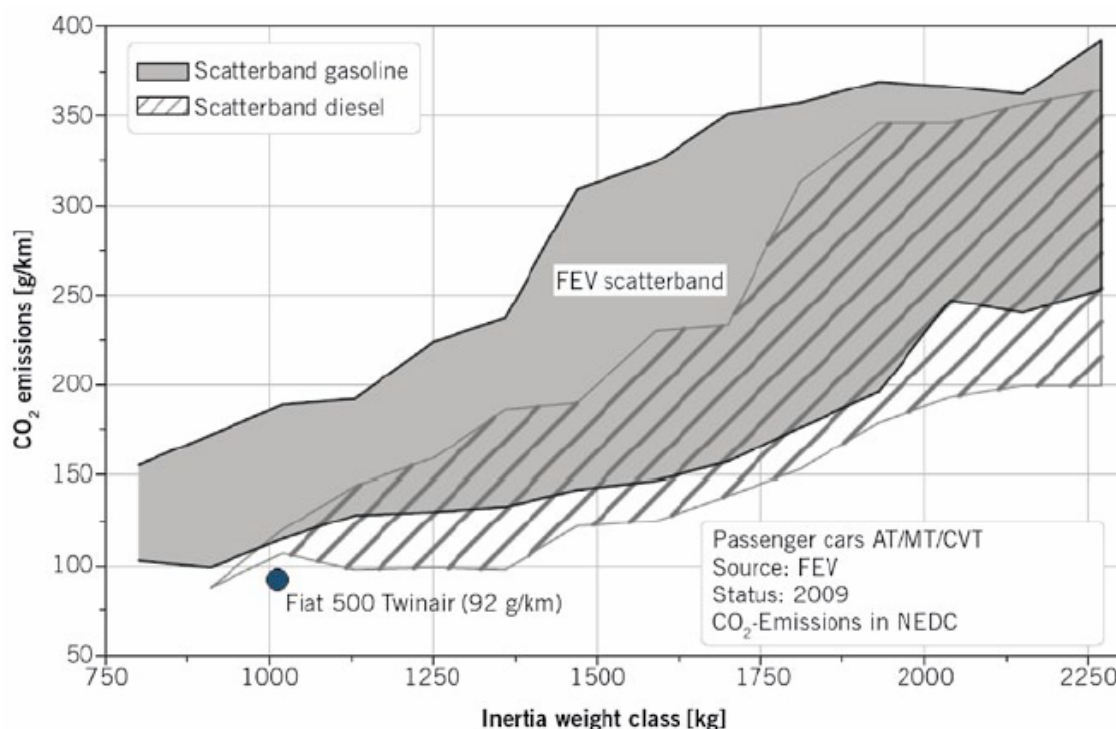
Perussuunnittelun lähtökohtina olivat kitkan vähentäminen sekä komponenttien integrointi. Esimerkiksi kiertokankien liukulaakereiden halkaisijat ja mäntien paino pienennettiin alhaisemman kitkan saavuttamiseksi. Värähtelyjen ehkäisemiseksi kampikammioon sijoitettiin erillinen tasapainoakseli, joka myös pyörittää vesipumppua. Tällaisilla ratkaisuilla pyrittiin minimoimaan erillisiä komponentteja, jotka aiheuttavat häviöitä sekä kustannuksia. (Mastrangelo ym. 2011, 6.)

6.2 Uuden moottorin etuja

MultiAir-teknologialla on suuri vaikutus polttoainekulutuksen pienentämisessä. Täysin muuttuva-ajoituksisten venttiilien säätö tapahtuu sähköhydraulisen toimilaitteen sekä ohjainlaitteen avulla. Ilmamäärä vaihtelee jokaisessa sylinterissä ja jokaisessa palamisessa. Tällä on saavutettu merkittäviä polttoainesäästöjä. Lisäksi imukanavan muotoilulla päästiin pineen osakuorman kulutukseen saavuttamalla silti vaadittu täyskuorman suorituskyky. Myös suunnittelun lähtökohtana ollut kitkahäviöiden pienentäminen näkyy alhaisempana polttoaineen kulutuksena. Moottorin pienin ominaiskulutuslukema kartalla on 242 g/kWh. (Mastrangelo ym. 2011, 8-9.)

6.3 Fiat 500 ja TwinAir

Uusi moottori tullaan sijoittamaan ensimmäiseksi Fiat 500:aan. Tavoitteena on moottori, jonka maksimiteho on 62,5 kW pyörintänopeudella 5500 1/min ja maksimivääntömomentti 155 Nm pyörintänopeudella 2000 1/min. Tässä yhdistyy pienikulutuksinen moottori sekä pieni auto, jolloin yhdistelmä on hyvä ja toimiva. Autolle luvataan todella pieni päästöarvo, vain 92 grammaa hiilidioksidia kilometriä kohden. Kuviosta 9. nähdään, että arvo on pienempi kuin tämän päivän parhaimmilla dieselmoottoreilla. Välityssuhteiden valinnalla on auton ajettavuus pidetty hyvänä, esimerkiksi kiihdytys 80 km/h:stä 120 km/h:iin kestää suurimmalla vaihteella ajettaessa vain 12,5 sekuntia. (Mastrangelo ym. 2011, 9-10.)



Kuvio 9. Fiat 500 TwinAir hiilidioksidipäästö (Mastrangelo ym. 2011, 10)

Edeltäjässään Fiat 500:ssa oli pienempi moottoriversio 1,2 litrainen nelisylinterinen rivimoottori, joka tuotti maksimitehonsa 51 kW kierrosluvulla 5500 1/min ja suurimman vääntömomenttinsa 102 Nm kierrosluvulla 3000 1/min. Sen valmistajan ilmoittama yhdistetty kulutus oli 5,1 litraa sadalla kilometrillä ja CO₂-päästöt 119 g/km. Kiihtyvyys 90 km/h:stä 120 km/h:iin ilmoitetaan kestävän suurimmalla vaihteella 23,3 sekuntia. (Sukava 2008, 166-167.)

TwinAir-moottori on kehittynyt edeltäjästään. Esimerkiksi teholumemat ovat samaa luokkaa, mutta CO₂-päästöt ovat pudonneet 27 g/km. Lisäksi nähdään välityssuhteiden valinnan merkitys, kun verrataan kiihtyvyysarvoja suurimmalla vaihteella. Uusi moottori kiihdyttää auton suurillakin nopeuksilla ja pidemmällä mittausvälillä lähes puolta nopeammin tavoitenopeuteen kuin vanha moottori. Kiihtyvyyteen vaikuttaa myös turboahdin, joka lisää vääntömomenttia alhaisilla kierroksilla.

Tässä on hyvä käytännön esimerkki toteutuksesta, jonka ideaa sivuttiin ajotilapiirroksen yhteydessä. Fiat 500 uudella 0,9 litraisella TwinAir-moottorilla on downsizingia parhaimmillaan.

Nykyistä pienempiin kulutusarvoihin pääseminen edellyttää radikaaleja ratkaisuja. Usein erilaiset tekniset ongelmat ovat ratkaistavissa. Esteeksi jää vain ihmisten asenteet ja ennakoluulot pienempiä moottoreita kohtaan. Kuitenkin tästäkin huomataan, ettei downsizing aina tarkoita suorituskyvystä tinkimistä, vaikka taloudellisuus sekä ympäristöystävällisyys lisääntyisikin.

7 VW GOLF FSI- JA TSI-MOOTTOREIDEN VERTAILUA

Volkswagen on ollut vuosikymmenet yksi Euroopan myydyimmistä automerkeistä. Merkin pitkät perinteet ulottuvat aina vuoteen 1937 asti, jolloin perustettiin yritys Gesellschaft zur Vorbereitung des Deutschen Volkswagens GmbH. Nykyään Volkswagen on Euroopan suurin autonvalmistaja. Volkswageneita on yleisesti pidetty laadukkaina tavallisten ihmisten autoina, ja merkillä on oma uskollinen kannattajakuntansa. (Volkswagen 2011a.) Uudet päästönormit ovat kuitenkin pakottaneet myös Volkswagenin kehittämään entistä taloudellisempia sekä pienipäästöisempiä moottoreita.

7.1 Volkswagen Golf V 1.6 FSI

Volkswagen esitteli ensimmäisen FSI-moottorinsa 2000-luvun alussa. Lyhenne FSI tulee englannin kielen sanoista Fuel Stratified Injection, mikä tarkoittaa polttoaineen kerrostäyttöä. Moottori toimii suorasuihkutusperiaatteella, eli polttoaine suihkutetaan imukanavan sijaan suoraan palotilaan. Kerrostäyttö tulee siitä, kun palotilassa komponenttien muotoilulla ja asettelulla on virtaukset saatu sellaisiksi, että polttoaine ja ilma asettuvat kerrkoksittain palotilaan. Ottomoottoreissa suorasuihkutus ei ollut kovin yleistä tämän moottorin tullessa markkinoille, mutta se on yleistynyt sen jälkeen. (Sukava 2003, 129.)

Vuonna 2003 lanseeratun viidennen sukupolven Golfin 1,6-litraisen FSI-moottorin maksimitehoksi ilmoitetaan 84,3 kW, joka saavutetaan

pyörintänopeudella 6000 1/min. Vääntömomentin maksimi 155 Nm puolestaan saavutetaan pyörintänopeudella 4000 1/min. Kiihtyvyys 0-100 km/h on vain 10,8 sekuntia, ja huippunopeus on 192 km/h. Yhdistetyksi polttoaineenkulutukseksi ilmoitetaan 6,4 l/100 km, ja CO₂-päästöt ovat 154 g/km. (Carfolio 2011a.)

Auto vaikuttaa suoritusarvojensa perusteella juuri sellaiselta peruskäyttöautolta kuin Volkswagen on luultavasti tarkoittanutkin sen olevan. Ei mitään liikaa mutta ei myöskään liian vähän. Ilmoitettu polttoaineenkulutusarvo oli varmasti pieni vuonna 2003, mutta nykyään se tuntuu ehkä jopa hieman suurelta auton suorituskykyyn verrattuna. Osaltaan asiaa selittää auton ilmanvastuskerroin, joka on 0,32 (Carfolio 2011a). Korin viistoperäinen muoto osaltaan selittää suurehkon ilmanvastuskertoimen.

FSI-moottori pienensi Golfin polttoaineen kulutusta edeltäjästään. Saman korimallin tavallisen imusarjaruiskutteisen 1,6-litraisen Golfin yhdistetty polttoaineenkulutus on 7,3 l/100 km, kaupunkiajossa 9,8 l/100 km ja maantieajossa 5,9 l/100km (Carfolio 2011c). FSI-moottorilla vastaavat kulutuslukemat ovat 6,4; 8,5 ja 5,3 l/100 km (Carfolio 2011a). Suorasuihkutuksella saavutetaan noin litran polttoainesäästö sadalla kilometrillä ajotilanteesta riippumatta.

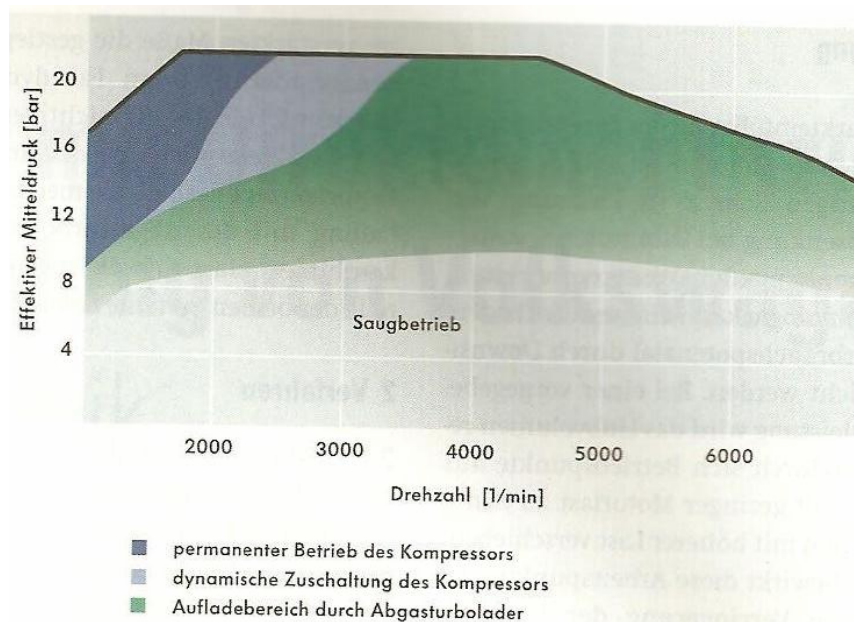
7.2 Volkswagen Golf V 1.4 TSI

Volkswagen määrittelee termin downsizing siten, että he ovat onnistuneet yhdistämään samassa moottorissa pienen iskutilavuuden mahdollistaman pienen kulutuksen sekä suuren iskutilavuuden omaavan moottorin vääntömomentin (Volkswagen 2011c).

Alkuperäinen nimitys TSI tarkoitti moottoria, jossa on sekä turboahdin että pakokaasuahdin. Volkswagen käyttää nykyisin TSI-nimitystä myös moottoreista, joissa on vain turboahdin. Tässä moottorissa on yhdistetty FSI-moottorista tuttu polttoaineen suorasuihkutus sekä kaksoisahdinjärjestelmä. (Nieminen 2006,134.)

Mekaaninen ahdin on tässä tapauksessa sähkömagneettisella kytkimellä aktivoituva roots-ahdin. Vesipumppu on sijoitettu mekaanisen ahtimen yhteyteen. Moniurahihna pyörittää vesipumppua, ja vesipumpusta toinen hihna pyörittää mekaanista ahdinta. Ahdin saadaan kytkettyä päälle tai pois tarpeen mukaan. (Krebs ym. 2005a, 852.)

Mekaanisen ahtimen tarkoitus on kasvattaa moottorin vääntömomenttia alhaisilla pyörintänopeuksilla, jolloin pakokaasuahdin ei vielä tuota riittävästi ahtopainetta. Pyörintänopeusalueella 2400...3500 1/min molemmat ahtimet toimivat yhtäaikaaisesti, jonka jälkeen mekaaninen ahdin otetaan pois käytöstä, ja turboahdin tuottaa kaiken tarvittavan ahtopaineen. (Nieminen 2006, 134.)



Kuvio 10. Volkswagen Golf 1,4 125 kW TSI-moottorin ahtimien toiminta-alue (Krebs ym. 2005b, 980).

Moottorin maksimiteho 125 kW saavutetaan pyörintänopeudella 6000 1/min ja vääntömomentin huippu 240 Nm pyörintänopeusalueella 1500 - 4750 1/min. Auton kiihtyvyyssarvoksi 0-100 km/h ilmoitetaan 7,9 sekuntia ja huippunopeus on 220 km/h. Yhdistetty polttoaineenkulutus on 7,2 l/100 km ja CO₂-päästöt ovat 173 g/km. (Nieminen 2006, 135).

Auton suoritusarvot ovat varsin vakuuttavia, ottaen huomioon että kyseessä on iskuutilavuudeltaan 1,4 litrainen nelisylinterinen moottori. Moottorin suorituskyky on 1,6 litraista vapaasti hengittävää FSI-moottoria huomattavasti parempi korkean viritystasteen takia. Tästä huolimatta polttoaineen kulutus on säilynyt hyvinkin maltillisena ja laskenut FSI-moottoriin verrattuna. Moottorilla päästään parhaimmillaan 235 g/kWh ominaiskulutuslukemaan, mikä on vaikuttava lukema ottomoottorille (Krebs ym. 2005b, 984).

Yksi merkittävä tekijä on pakokaasuahtimen käyttö, joka ottaa käyttövoimansa muutoin hukkaan menevästä pakokaasun virtauksesta. Golfissa on lisäksi TSI moottorin ansiosta mahdollista käyttää pidempiä vaihteiston välityssuhteita, mikä alentaa myös polttoaineenkulutusta (Nieminen 2006, 135). Tämän mahdollistaa tasaiseksi leikattu vääntömomenttikäyrä, eli moottorin maksimivääntömomentti on käytettävissä hyvin laajalla pyörintänopeusalueella tietyn huippuarvon sijaan.

Volkswagen on saavuttanut merkittäviä tuloksia systemaattisella downsizingilla, suuremmilla tehollisilla keskipaineilla ja täten paremmalla ominaiskulutuksella. Tehollisen keskipaineen maksimiarvo on korkea 21,7 bar. Tämän on mahdollistanut kaksoisahdintekniikka sekä FSI-suorasuihkutus. (Krebs ym. 2005a, 846).

7.3 Volkswagen Golf VI 1.4 TSI

Volkswagen toi markkinoille kuudenenn sukupolven Golfin vuosien 2008 ja 2009 taitteessa. Moottorivaihtoehtona oli edelleen saatavissa 1,4 litrainen kaksoisahdettu nelisylinterinen rivimoottori, joskin hieman muutoksia kokeneena. Moottoria oli saatavana sekä kaksoisahdettuna että pelkällä pakokaasuahtimella varustettuna. Volkswagen käyttää silti molemmista moottorityypeistä nimitystä TSI. (Sukava 2009, 103-131).

Pelkällä pakokaasuahtimella varustetun moottorin maksimiteho on 89,9 kW pyörintänopeudella 5000 1/min ja suurin vääntömomentti on 200 Nm pyörintänopeusalueella 1500-4000 1/min. Auton kiihtyvyydeksi 0-100 km/h tällä

moottorilla ilmoitetaan olevan 9,5 sekuntia ja huippunopeudeksi saadaan 200 km/h. Yhdistetty polttoaineenkulutus on 6,2 l/100 km ja CO₂-päästöt ovat 144 g/km. (Carfolio 2011b.)

Kaksoisahdetun moottorin maksimiteho puolestaan on 118 kW pyörintänopeudella 5800 1/min ja vääntömomentin maksimiarvo 240 Nm saadaan pyörintänopeusalueella 1750-4500 1/min. Maksimikihtyvyydeksi 0-100 km/h on ilmoitettu 8,6 sekuntia ja huippunopeudeksi 220 km/h. Yhdistetty kulutus on 6,0 l/100 km ja CO₂-päästöt on 139 g/km. (Sukava 2009, 134-135).

Ero jo näiden kahden moottoriversion välillä on mielenkiintoinen, sillä tehokkaampi versio moottorista näyttäisi olevan taloudellisempi kuin pienempitehoinen yhdellä ahtimella oleva moottori. Edelliseen kaksoisahdettuun 1,4-litraiseen moottoriin verrattuna uudesta vastaavasta versiosta tehoa on pudotettu hieman, mutta maksimivääntömomentti on pysynyt saman suuruisena. Yhdistetty polttoaineenkulutus on laskenut huimat 1,2 litraa sadalla kilometrillä, ja myös hiilidioksidipäästöt ovat pudonneet 34 g/km. Volkswagen on saavuttanut vaikuttavaa kehitystä tällä saralla.

Vaikka kaksoisahdettu versio on pelkällä pakokaasuahtimella varusteltua moottoria taloudellisempi, tuntuu moottorin suorituskyky ylimitoitetulta normaaliin ajamiseen. Toisin kuin Fiat, joka todisti pystyvänsä luomaan ajominaisuuksiltaan hyvän auton hyvin pienellä moottorilla, Volkswagen on downsizingissaan kasvattanut suorituskykyä samalla kun on pienentänyt iskuutilavuutta.

7.4 Volkswagen Golf VI 1.2 TSI

Volkswagen pienensi TSI-moottoreidensa iskuutilavuutta edelleen 0,2 litraa. Uutta 1,2-litraista moottoria saa Golfiin kahtena eri tehoversiona. Moottoreista käytetään edelleen nimitystä TSI, vaikka kummassakaan näistä ei ole kuin pakokaasuahdin. (Tuulilasi 2011a, b.) Tehokkaammassa moottoriversiossa on lisäksi Volkswagenin BlueMotion-merkintä, jolla Volkswagen tarkoittaa kaikkia

niitä teknologioita, joilla se on tehnyt autoistaan ympäristötehokkaampia (Volkswagen 2011b).

Pienempitehoisen moottoriversion maksimiteho on 63 kW pyörintänopeudella 4800 1/min ja maksimivääntömomentti 160 Nm pyörintänopeudella 1500 1/min. Sen huippunopeudeksi on ilmoitettu 178 km/h. Yhdistetty polttoaineenkulutus on 5,5 l/100km ja CO₂-päästöt 129 g/km. (Tuulilasi 2011b.)

Tehokkaamman BlueMotion-version maksimiteho 77 kW saavutetaan pyörintänopeudella 5000 1/min ja maksimivääntömomentti 175 Nm saadaan pyörintänopeusalueella 1550-4100 1/min. Sen huippunopeus puolestaan on 190 km/h. Yhdistetty polttoaineenkulutus on 5,2 l/100km ja CO₂-päästöt 121 g/km. (Tuulilasi 2011a).

Tässäkin tapauksessa tehokkaampi moottoriversio on taloudellisempi. Toisaalta BlueMotion-moottorissa on luultavasti panostettu enemmän pienen kulutuksen ja päästöjen saavuttamiseksi, koska toiselle moottorille ei ole BlueMotion-nimitystä annettu.

Moottoreiden suorituskyky on lähempänä sitä luokkaa, mitä ennen pidettiin keskivertona keskikokoiselle henkilöautolle. FSI-moottoriin verrattuna suorituskyvyissä ei suuria eroja ole, hieman pienemmillä suorituskykyarvoilla on päästy huomattavasti pienempiin kulutus- ja päästöarvoihin. Myös ensimmäisen sukupolven TSI-moottoriin verrattuna uudet moottorit ovat reilusti taloudellisempia, joskin suorituskyvyt ei yllä läheskään ensimmäisen sukupolven TSI:n lukemiin. Toisen sukupolven 1,4-litraisiin TSI-moottoreihin verrattuna erot kaventuvat. Tehokkaampia versioita verrattaessa 1,4-litrainen moottori tuottaa hiilidioksidia 139 g/km, kun taas 1,2-litrainen 121 g/km. Näiden kahden päästöero ei ole siten kuin 18 g/km, kun kuitenkin 1,4-litrainen moottori on maksimiteholtaan huimat 41 kW tehokkaampi.

On vaikea sanoa, miten luvut muuttuisivat, jos moottorin iskutilavuutta pienennettäisiin edelleen mutta viritystasetta nostettaisiin tai pidettäisiin ennallaan. Moottorin tehollinen keskipaine saattaisi nousta liian suureksi tai komponenttien kestävyydestä tulisi ongelma. Moottorin elinikä saattaisi lyhentyä

radikaalisti sekä kustannukset tulisivat liian suuriksi, jos käyttövarmuus haluttaisiin pitää hyvänä.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tutkia downsizing-ilmiöön johtaneita tekijöitä, ajamiselle asetettuja vaatimuksia sekä tutustua eri valmistajien kehittämiin ratkaisuihin.

Ilmastonmuutos sekä raakaöljyvarojen ehtyminen on pakottanut autoteollisuuden kehittämään pienempikulutuksisia autoja. Fossiilisten polttoaineiden palamisessa syntyvällä hiilidioksidilla on ilmastonmuutoksen kannalta suuri merkitys. Keinoja polttoaineenkulutuksen pienentämiseksi on useita, joista osa riippuu auton ominaisuuksista ja osa kuljettajan ajotavasta. Uudet kehittyneet teknologiat mahdollistavat pienen kulutuksen tinkimättä auton suorituskyvystä.

Ajovastukset ovat keskeisiä kun autoa suunnitellaan. Ne määrittelevät sen, kuinka pieneksi voidaan auton moottori mitoittaa.

Ottomoottorit tarjoavat downsizingille paremmat lähtökohdat kuin dieselmoottorit, joissa palotapahtuman hallinta on monimutkaisempaa ja riittävän vääntömomentin aikaansaaminen edellyttää kehittyntä ahtamistekniikkaa.

Fiat on kehittänyt uuden erikoisen pienen kaksisylinterisen ottomoottorin, joka tarjoaa silti varteenotettavan suorituskyvyn. Kaasuläpättömän TwinAri-moottorin ilmamäärää säädellään sähköhydraulisilla venttiileillä joka palotapahtumassa erikseen. Moottorilla on saavutettu huomattavia polttoainesäästöjä.

Volkswagen on puolestaan kehittänyt ottomoottoreiden suorasuihkutus-tekniikkaa yhdistettynä kaksoisahdinjärjestelmään, jolla on saatu merkittäviä teholumkia polttoaineenkulutuksen kasvamatta. Tehoa tinkimällä ja moottoria pienentämällä on päästy vielä alhaisempiin kulutuslukemiin.

Downsizing saattaa olla välivaihe ennen suurempia muutoksia. Se ei pelasta polttomoottoria, mutta se antaa lisää aikaa kehittää uusia korvaavia

teknologioita. Downsizing on välttämättömyys päästöjen pienentämiseksi entistään autoistuvammassa maailmassa.

LÄHTEET

Adomeit, P.; Glock, S.; Sher, A. & Wedowski, S. 2010. Two-stage turbocharging – concept for high pressure charging on SI-engines. MTZ 5/2010, 50-54.

BOSCH 2003. Autoteknillinen taskukirja. 6. painos. Jyväskylä: Gummerus Oy.

Carfolio.com – The Car Specifications Database 2011a. Viitattu 10.2.2011. <http://www.carfolio.com> > Specifications > Volkswagen > 2003 Volkswagen Golf 1.6 FSI Specifications

Carfolio.com – The Car Specifications Database 2011b. Viitattu 10.2.2011. <http://www.carfolio.com> > Specifications > Volkswagen > 2008 Volkswagen Golf 1.4 TSI Specifications

Carfolio.com – The Car Specifications Database 2011c. Viitatti 15.3.2011. <http://www.carfolio.com> > Specifications > Volkswagen > 2003 Volkswagen Golf 1.6 Specifications

Ikonen, M. 2007. Why are we looking for alternative fuels and drive systems. Turun ammattikorkeakoulu.

Ikonen, M. 2011. Suullinen tiedonanto

Ilmatieteenlaitos 2011a. Viitattu 10.3.2011. <http://ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuoneilmiö>

Ilmatieteenlaitos 2011b. Viitattu 10.3.2011. <http://ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasut>

Ilmatieteenlaitos 2011c. Viitattu 10.3.2011. <http://ilmatieteenlaitos.fi/hiilidioksidi-ja-hiilenkiertokulku>

Jalovaara, T. 2007. Kiinan autoistuminen haasteiden edessä. Tekniikan Maaailma 1/2007, 114-115.

Krebs, R.; Szengel, R.; Middendorf, H.; Fleib, M.; Laumann, A. & Voeltz, S. 2005a. Neuer Ottomotor mit Direktinspritzung und Doppelaufladung von Volkswagen, Teil 1: Konstruktive Gestaltung. MTZ 11/2005, 844-856.

Krebs, R.; Szengel, R.; Middendorf, H.; Sperling, H.; Siebert, W.; Theobald, J. & Michels, K. 2005b. Neuer Ottomotor mit Direktinspritzung und Doppelaufladung von Volkswagen, Teil 2: Thermodynamik. MTZ 12/2005, 978-986.

Mastrangelo, G.; Micelli, D. & Sacco, D. 2011. Extreme downsizing by the two-cylinder gasoline engine from Fiat. MTZ 2/2011, 4-10.

Nieminen, J. 2006. Pienikin ponnistaa. Tekniikan Maaailma 13/2006, 134-135.

Schommers, J.; Weller, R.; Böttcher, M & Ruisinger, W. 2011. Downsizing diesel engines. MTZ 2/2011, 12-15.

STRO rengasnormit 2005. Scandinavian tire & rim organization 2005.

Sukava, J. 2009. Eurooppalainen puheenvuoro. Tekniikan Maaailma 2/2009, 130-135.

Sukava, J. 2003. Mallin mukaan. Tekniikan Maaailma 14/2003, 126-131.

Sukava, J. 2008. Ihmisen oloinen auto. Tekniikan Maailma 11/2008, 162-167.

Sukava, J. 2007. Kaikkien aikojen auto. Tekniikan Maailma 9/2007, 170-175.

Tekniikka & Talous 2009. Maailman öljyvarat riittävät 42 vuodeksi. Viitattu 21.1.2011 <http://www.tekniikkatalous.fi/energia/article298877.ece>.

Toyota 2011. Viitattu 10.3.2011. <http://www.toyota.fi> > Prius

Tuulilasi 2011a. Viitattu 10.2.2011. <http://www.tuulilasi.fi> > Autot > Merkit ja mallit > Volkswagen > Golf > Comfortline 1,2 TSI 77 kW (105 hv) BlueMotion Technology 2-ovinen

Tuulilasi 2011b. Viitattu 10.2.2011. <http://www.tuulilasi.fi> > Autot > merkit ja mallit > Volkswagen > Golf > Trendline 1,2 TSI 63 kW (85 hv) 2-ovinen

Volkswagen 2011a. Viitattu 7.2.2011. <http://www.volkswagen.com> > Volkswagen international > Company > History

Volkswagen 2011b. Viitattu 10.2.2011. <http://www.volkswagen.fi> > Tekniikka > BlueMotion Technologies

Volkswagen 2011c. Viitattu 10.2.2011. <http://www.volkswagen.fi> > Tekniikka > Moottorit ja voimansiirto > TSI

YLE Uutiset 2010. Suomalaiset haluaisivat nostaa talvinopeuksia – jos se ei maksa paljon. Viitattu 25.1.2010 http://yle.fi/uutiset/kotimaa/2010/11/suomalaiset_nostaisivat_talvinopeuksia_-_jos_se_ei_maksa_paljon_2119248.html

Ajotilapiirroksen laskentataulukot

Taulukko 1. Teho- ja vääntömomenttiarvot

n [1/min]	Pvp [kW]	Mvp [Nm]
1000	10	95,5
1500	16	101,9
2000	23	109,8
2500	30	114,6
3000	38	121,0
3500	45	122,8
4000	53	126,5
4500	61	129,4
5000	66	126,1
5500	70	121,5
6000	71	113,0
6500	70	102,8

Taulukko 2. Vaihde 1

Vaihde	Moottorin pyörintänopeus	Ajonopeus [m/s]	Ajonopeus [km/h]	Käyttövoima pyörällä [N]
1	[1/min]			
	1000	2,00	7,21	4597
	1500	3,00	10,81	4903
	2000	4,00	14,41	5286
	2500	5,00	18,01	5516
	3000	6,00	21,62	5822
	3500	7,01	25,22	5910
	4000	8,01	28,82	6091
	4500	9,01	32,42	6231
	5000	10,01	36,03	6068
	5500	11,01	39,63	5850
	6000	12,01	43,23	5439
	6500	13,01	46,83	4950

Taulukko 3. Vaihde 2

Vaihde	Moottorin pyörintänopeus	Ajonopeus	Ajonopeus	Käyttövoima
2	[1/min]	[m/s]	[km/h]	pyörällä [N]
	1000	3,73	13,42	2469
	1500	5,59	20,12	2633
	2000	7,45	26,83	2839
	2500	9,32	33,54	2963
	3000	11,18	40,25	3127
	3500	13,04	46,95	3174
	4000	14,91	53,66	3271
	4500	16,77	60,37	3347
	5000	18,63	67,08	3259
	5500	20,50	73,78	3142
	6000	22,36	80,49	2921
	6500	24,22	87,20	2659

Taulukko 4. Vaihde 3

Vaihde	Moottorin pyörintänopeus	Ajonopeus	Ajonopeus	Käyttövoima
3	[1/min]	[m/s]	[km/h]	pyörällä [N]
	1000	5,42	19,50	1699
	1500	8,12	29,25	1812
	2000	10,83	39,00	1953
	2500	13,54	48,74	2038
	3000	16,25	58,49	2152
	3500	18,96	68,24	2184
	4000	21,66	77,99	2251
	4500	24,37	87,74	2303
	5000	27,08	97,49	2242
	5500	29,79	107,24	2162
	6000	32,50	116,99	2010
	6500	35,20	126,74	1829

Taulukko 5. Vaihde 4

Vaihde	Moottorin pyörintänopeus	Ajonopeus	Ajonopeus	Käyttövoima pyörällä
4	[1/min]	[m/s]	[km/h]	[N]
	1000	7,32	26,36	1257
	1500	10,98	39,54	1340
	2000	14,64	52,71	1445
	2500	18,30	65,89	1508
	3000	21,96	79,07	1592
	3500	25,62	92,25	1616
	4000	29,29	105,43	1665
	4500	32,95	118,61	1703
	5000	36,61	131,78	1659
	5500	40,27	144,96	1599
	6000	43,93	158,14	1487
	6500	47,59	171,32	1353

Taulukko 6. Vaihde 5

Vaihde	Moottorin pyörintänopeus	Ajonopeus	Ajonopeus	Käyttövoima pyörällä
5	[1/min]	[m/s]	[km/h]	[N]
	1000	8,71	31,34	1057
	1500	13,06	47,01	1127
	2000	17,41	62,68	1215
	2500	21,76	78,35	1268
	3000	26,12	94,02	1339
	3500	30,47	109,69	1359
	4000	34,82	125,36	1400
	4500	39,18	141,03	1432
	5000	43,53	156,71	1395
	5500	47,88	172,38	1345
	6000	52,24	188,05	1250
	6500	56,59	203,72	1138

Taulukko 7. Vastusvoimat

Ajonopeus	Ajonopeus	Teoreettinen	Vierinvastus	Vierinvastus	Ilmanvastus	Vastusvoimat	Nousuvastus	Vastusvoimat
		Vetovoima	kerroin	voima	voima	Yhteensä	voima	Yhteensä
[km/h]	[m/s]	[N]	fr	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
0	0,00	0	0,0100	124,1	0,0	124,1	372,0	496,1
10	2,78	23515	0,0100	124,4	3,0	127,4	372,0	499,5
20	5,56	11758	0,0101	124,8	11,9	136,7	372,0	508,8
30	8,33	7838	0,0101	125,1	26,9	152,0	372,0	524,1
40	11,11	5879	0,0101	125,5	47,8	173,3	372,0	545,3
50	13,89	4703	0,0101	125,8	74,7	200,5	372,0	572,5
60	16,67	3919	0,0102	126,2	107,5	233,7	372,0	605,7
70	19,44	3359	0,0102	126,5	146,3	272,8	372,0	644,9
80	22,22	2939	0,0102	126,9	191,1	318,0	372,0	690,0
90	25,00	2613	0,0103	127,2	241,9	369,1	372,0	741,1
100	27,78	2352	0,0103	127,5	298,6	426,2	372,0	798,2
110	30,56	2138	0,0103	127,9	361,3	489,2	372,0	861,3
120	33,33	1960	0,0103	128,2	430,0	558,3	372,0	930,3
130	36,11	1809	0,0104	128,6	504,7	633,3	372,0	1005,3
140	38,89	1680	0,0104	128,9	585,3	714,2	372,0	1086,3
150	41,67	1568	0,0104	129,3	671,9	801,2	372,0	1173,2
160	44,44	1470	0,0104	129,6	764,5	894,1	372,0	1266,2
170	47,22	1383	0,0105	130,0	863,0	993,0	372,0	1365,0
180	50,00	1306	0,0105	130,3	967,6	1097,9	372,0	1469,9
190	52,78	1238	0,0105	130,6	1078,1	1208,7	372,0	1580,7
200	55,56	1176	0,0106	131,0	1194,5	1325,5	372,0	1697,6
210	58,33	1120	0,0106	131,3	1317,0	1448,3	372,0	1820,3

Taulukko 8. Vastustehot

Vierinvastus	Ilmanvastus	Vastusteho	Nousuvastus	Vastusteho
teho	teho	Yhteensä	teho	Yhteensä
[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
0,35	0,0	0,4	1,0	1,4
0,69	0,1	0,8	2,1	2,8
1,04	0,2	1,3	3,1	4,4
1,39	0,5	1,9	4,1	6,1
1,75	1,0	2,8	5,2	8,0
2,10	1,8	3,9	6,2	10,1
2,46	2,8	5,3	7,2	12,5
2,82	4,2	7,1	8,3	15,3
3,18	6,0	9,2	9,3	18,5
3,54	8,3	11,8	10,3	22,2
3,91	11,0	14,9	11,4	26,3
4,27	14,3	18,6	12,4	31,0
4,64	18,2	22,9	13,4	36,3
5,01	22,8	27,8	14,5	42,2
5,39	28,0	33,4	15,5	48,9
5,76	34,0	39,7	16,5	56,3
6,14	40,8	46,9	17,6	64,5
6,52	48,4	54,9	18,6	73,5
6,90	56,9	63,8	19,6	83,4
7,28	66,4	73,6	20,7	94,3
7,66	76,8	84,5	21,7	106,2